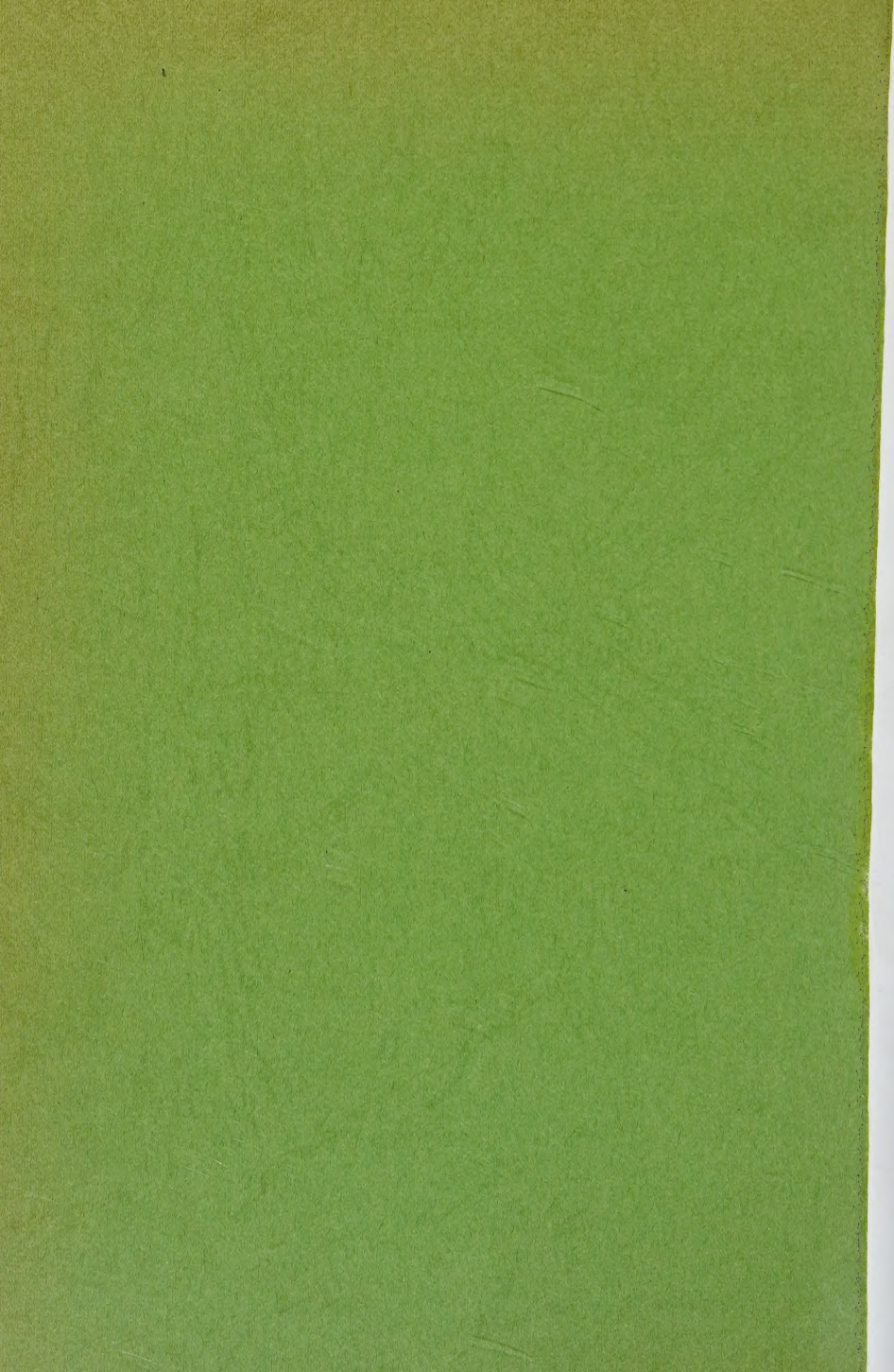


**Verwendung der Biomasse der Baumarten
Schwarzkiefer (*Pinus nigra* arn.) und Robinie (*Robinia
Pseudoacacia* L.) als Spanplattenrohstoff unter Berück-
sichtigung der Ganzbaumernte im Kurzumtrieb**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.**

**vorgelegt von
Abdolali Amri
aus
Brudjerd / Iran
1979**





Digitized by the Internet Archive
in 2026

**Verwendung der Biomasse der Baumarten
Schwarzkiefer (*Pinus nigra* arn.) und Robinie (*Robinia
Pseudoacacia* L.) als Spanplattenrohstoff unter Berück-
sichtigung der Ganzbaumernte im Kurzumtrieb**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.**

**vorgelegt von
Abdolali Amri
aus
Brudjerd / Iran
1979**

"Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen
Austauschdienstes"

Dekan : Prof. Dr. R. GRAMMEL
Leiter der Arbeit : Prof. Dr. R. GRAMMEL
Referent : Prof. Dr. R. GRAMMEL
Korreferent : Prof.Dr.Dr.h.c. G. Speidel

Tag der Verkündigung des Prüfungsergebnisses: 19.11.1979



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1. Einleitung	1
1.2. Problemstellung	6
2. MODELLHAFTE UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER AUSBEUTE AN BIOMASSE AUS JUNGBESTÄNDEN DER BAUMARTEN PINUS NIGRA UND ROBINA PSEUDOACACIA	13
2.1. Übersicht über bisherige Untersuchungen zur Cha- rakterisierung und Quantifizierung der Biomasse	13
2.2. Charakterisierung der zur Bestimmung der Biomasse im Hinblick auf die Verwendung zur Spanplattenher- stellung relevanten Baumbestandteile	20
2.2.1. Zusammensetzung der Biomasse	20
2.2.2. Gewicht der Biomasse	25
2.2.3. Ermittlung statistischer Grundlagen	27
2.2.4. Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Versuchsbestände	30
2.2.4.1. Untersuchungsgebiet	30
2.2.4.2. Versuchsbestände	31
2.2.5. Versuchsdurchführung	35
2.2.5.1. Auswahl der Probebäume und Zer- legung in ihre Biomassebestand- teile	35
2.2.5.2. Laboruntersuchungen an den ver- schiedensten Biomassebestandteilen	37
2.2.5.3. Aufarbeitung der Meßdaten	38
2.2.6. Versuchsergebnisse	41
2.2.6.1. Die Dichten des Holzes	41
2.2.6.2. Wasser- bzw. Trockengehalt der Biomassesortimente	45
2.2.6.3. Rindenanteil	48
2.2.6.4. Die Zusammensetzung der Biomasse	51
2.3. Zusammenfassende Wertung der Biomasseuntersuchun- gen	56

	Seite
3. HERSTELLUNG VON SPANPLATTEN AUS DEM BIOMASSE-MATERIAL	59
3.1. Bisherige Untersuchungen	59
3.2. Zielsetzung und methodische Grundlagen der Spanplattenherstellung	62
3.3. Versuchsdurchführung	64
3.3.1. Materialaufbereitung	64
3.3.2. Prüfung der Einsatzmaterialien	68
3.3.2.1. Spananalyse	68
3.3.2.2. pH-Wert-Messung	69
3.3.3. Plattenherstellung	69
3.3.4. Plattenprüfung	73
3.3.5. Auswertung der Prüfergebnisse	75
3.4. Versuchsauswertung	78
3.4.1. Ergebnisse der Materialprüfung	78
3.4.1.1. Siebanalyse	78
3.4.1.2. Spanabmessungen und Streudichte der Späne	82
3.4.1.3. pH-Werte des Spanmaterials	87
3.4.2. Platteneigenschaften	88
3.4.2.1. Technologische Daten der Biomasseplatten	88
3.4.2.2. Technologische Daten der Spanplatten hinsichtlich der unterschiedlichen Biomassekombinationen der Untersuchungsbestände	93
3.4.2.3. Ergebnisse des Lagerungsversuchs	98
3.5. Zusammenfassende Wertung der Spanplattenherstellung	99
4. TECHNOLOGIE DER HOLZERNTE BEI GANZBAUMNUTZUNG IM KURZUMTRIEB	102
4.1. Charakterisierung der möglichen Erntevarianten	102
4.1.1. Fällen und Vorkonzentrieren	104
4.1.2. Holzbringung	105
4.1.3. Hacken	107

	Seite
4.1.4. Abtransport des Biomassematerials	110
4.2. Übersicht über die Hackertechnik	111
5. MODELLHAFTE DARSTELLUNG DER BIOLOGISCHEN, WALDBAU- LICHEN, HOLZERNTETECHNISCHEN SOWIE INDUSTRIELLEN ASPEKTE EINER INTEGRIERTEN SPANPLATTENPRODUKTION AUF DER BASIS VON GANZBAUM-HACKSCHNITZELN	113
5.1. Kalkulation der notwendigen forstlichen Pro- duktionsflächen	113
5.2. Organisatorische Gestaltung der Holzernte- systeme	116
6. ÖKOLOGISCHE RESTRIKTIONEN DES ERNTEVERFAHRENS "GANZBAUMNUTZUNG"	119
7. ZUSAMMENFASSUNG	123
ABKÜRZUNGEN	128
8. LITERATURVERZEICHNIS	129

VORBEMERKUNG

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich durch meinen verehrten Doktorvater Herrn Prof. Dr. R. Grammel, Direktor des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg, dem ich an erster Stelle für sein wohlwollendes Interesse am Fortgang der Arbeit und seine freundliche fachliche Betreuung besonders danken möchte.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. G. Speidel für die freundliche Übernahme des Korreferats.

Herr Dipl.-Holzwirt H. Behler hat mir jederzeit Hilfe zuteil werden lassen. Dafür und für sein kritisches Urteil in Fachfragen sowie wertvollen Ratschlägen, vor allem bei der sprachlichen Überarbeitung, danke ich ihm herzlich.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Dr. G. Becker für seine hochgeschätzte Unterstützung und Mithilfe bei der Abfassung des Manuskripts bedanken.

Die Angehörigen der Abteilung Biometrie des Instituts für Forstliche Ertragskunde standen mir bei den statistischen Fragen mit Rat und Tat zur Seite. Ihnen allen, insbesondere Herrn Dr. Y. Ko, möchte ich herzlich danken. Frau T. Austermann gebührt an dieser Stelle mein herzlicher Dank für ihre Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Weiterhin darf ich der Gemeindeverwaltung von Hartheim a.Rh. Herrn OFR. Reining, Leiter des staatl. Forstamts Breisach, dem Betriebsbeamten ROFW. Gelbke und Herrn Ing. G. Trutter, Leiter des Laboratoriums Himmelheber, meinen verbindlichen Dank für die bereitwillige Unterstützung und für viele wichtige Hinweise und Ratschläge aussprechen.

Bedanken möchte ich mich ferner bei den Herren Prof. Dr. G. Hildebrandt, Prof. Dr. M. Prodan und Dr. A. Yachkaschi für ihre freundliche und ermutigende Hilfsbereitschaft.

Ebenso danken möchte ich dem Deutschen Akademischen Austauschdienst für die Gewährung eines Stipendiums und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Bereitstellung der finanziellen Mittel zur Aus-führung des Forschungsvorhabens.

Herzlichen Dank schulde ich auch den Angehörigen des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, insbesondere den Herrn Ing. F.v. Fürstenberg und G. Bahr für ihre Bemühungen und Mit-hilfe bei den Zeichenarbeiten bzw. Außenaufnahmen.

Außerordentlich geholfen hat mir Frl. E. Wolk bei der Übersetzung fremdsprachlicher Literatur und den grammatischen Korrekturarbeiten. Für diese große Hilfe sei ihr herzlichst gedankt.

Mein lieber Freund Herr K. Bartschat hat durch seine stete Hilfsbereit-schaft zur Überwindung von vielen für mich schwierigen Situationen entscheidend beigetragen. Ihm danke ich ebenfalls recht herzlich.

Dankend möchte ich noch erwähnen Herrn Dr. E. Hildebrand vom Institut für Bodenkunde, der mir bei der Durchführung der pH-Messungen behilf-lich war; Herrn Dipl.-Forstwirt G. Loskant, der mir häufig bei sprach-lichen Schwierigkeiten beigestanden hat, und Herrn E. Franz vom In-stitut für biologische Holzforschung für seine Bemühung bei der Her-stellung der Bilder eines Teils der vorliegenden Dissertation sowie Herrn H. Müller für die Übernahme der Schreibarbeiten.

Und nicht zuletzt möchte ich meiner Frau Azizeh für ihr Verständnis, ihre Unterstützung und Tapferkeit und ihre Zuversicht, die mir sehr viel bedeutet haben, in herzlichster Weise danken.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

1.1. Einleitung

Die Mehrzahl der in den vergangenen Jahren angestellten Überlegungen und Untersuchungen über die Entwicklung des weltweiten Holzverbrauchs einerseits und des Rohholzaufkommens andererseits haben zum Ergebnis, daß bis zum Jahr 2000 ein zunehmendes Auseinanderklaffen von Holzbedarf und Holzaufkommen zu erwarten sein wird. (vgl. STEINLIN, 1975; GRAMMEL, 1976 u. FAO/ECE, 1976). Schon heute führt in weiten Regionen der Erde, vor allem in den in Entwicklung befindlichen Ländern die Anhebung des Lebensstandards gemeinsam mit einer raschen Bevölkerungszunahme zu akuten Knappheitserscheinungen, schließlich darf man neben der Veredelung des Rohstoffes Holz nicht seine Verwendung als Brennstoff übersehen. Man spricht bereits von einer Energiekrise des armen Mannes. Folgen zeichnen sich ab, ganze Landstriche werden entwaldet, was die bekannten ökologischen Gefahren mit sich bringt. Nicht zuletzt werden aber auch für die industrialisierten Staaten der nördlichen Hemisphäre zumindest mittelfristig Versorgungsengpässe prognostiziert.

Wie Tab. 1 ausweist, führt dies bis zum Jahr 2000 zu einer Deckungslücke in der Größenordnung zwischen 200 und 300 Mio m³ Rohholz-Äquivalente allein auf dem Industrieholzsektor.

Tab. 1: Vergleich der Projektion des Industrieholzverbrauchs mit der Vorausschätzung des Industrieholzangebots in Europa bis zum Jahre 2 000 (in Mio. m³ Rohh.-Äqu.) - nach MÖBIUS, 1977 -

Jahr	Verbrauch	Angebot
1969/71	166	164
1980	255 - 280	240 - 265
1990	380 - 455	315 - 365
2000	565 - 735	385 - 490

Für das Heimatland des Verfassers, den Iran, wurden entsprechende Holzaufkommens- und Bedarfsprognosen noch nicht aufgestellt. Die Entwicklung der letzten Jahre legt jedoch nahe, entsprechende Tendenzen der Unterversorgung zu erwarten. Nimmt man die Eigenproduktion sowie den Verbrauch (also Produktion + Einfuhr) der wichtigsten Industrieholzverwendungsbereiche wie Spanplatte und Papier bzw. Pappe als Indikator, zeigt sich zwischen 1961 und 1976 eine rasche Zunahme sowohl der Eigenproduktion als auch des Verbrauchs. Der Selbstversorgungsgrad hat dabei relativ etwas zugenommen, absolut vergrößerte sich jedoch die Deckungslücke. Auch die pro Einwohner errechneten Verbrauchsquoten, die - um die Bevölkerungsentwicklung bereinigt - häufig als normierter Maßstab der Entwicklung des Lebensstandards herangezogen werden, zeigen im Vergleich zwischen dem Iran und anderen charakteristischen Ländern den Nachholbedarf, aber auch die in den letzten Jahren weit überdurchschnittlichen Steigerungsraten des Pro-Kopf-Verbrauchs. (vgl. FAO, 1976).

Die Deckung der bestehenden und sich weiter vergrößernden Versorgungslücken über den Import von Halb- und Fertigwaren bedeutet eine nicht unerhebliche Belastung der Zahlungsbilanz eines sich in Entwicklung befindlichen Landes. Andererseits dürften die Liefermöglichkeiten und -bereitschaft der herkömmlichen Holzexportländer in Folge höheren Eigenverbrauchs, Erschöpfung der Vorräte, wie auch aus politischen Gründen mehr und mehr nachlassen. Als Ausweg bleibt die bessere Ausnutzung des inländischen Rohholzaufkommens und die Eigenerzeugung von Holzwerkstoffen mit dem Ziel einer deutlichen Erhöhung des Selbstversorgungsgrades. Dies fügt sich zudem in das industriepolitische Bemühen des Iran, auch durch den Aufbau eigener Industrien verstärkt langfristig sichere, vom Ölsektor unabhängige Arbeitsplätze zu schaffen.

Bevor Überlegungen zur zweckmäßigen waldbaulichen Behandlung, zur Technologie und zur Verarbeitung des heimischen Rohholzaufkommens angestellt werden, erscheint eine möglichst differenzierte Forstinventur

notwendig, um Ausmaß, Zustand und Struktur des vorhandenen Wald- und Holzvorrats zu erfassen. Eine derartige Studie steht für den Iran noch aus. Tab. 2 vermag lediglich einen Überblick über die regionale Waldverteilung zu geben, wobei die vorhandene Datengrundlage nur eine grobe Ausscheidung von Intensitätsstufen unterschiedlicher Nutzungen erlaubt. Bereits diese Übersicht zeigt, daß sowohl vom Bewaldungsprozent wie auch Waldzustand her die Deckung eines rasch steigenden Industriebolzbefarfs nach den Prinzipien und mit den Instrumenten traditionellen (mitteleuropäischen) Waldbaus nicht realisierbar ist. Klimatische, ökologische und walddgeschichtliche Bedingungen und Bestimmungsgründe haben dazu geführt, daß ein Großteil der als Wald ausgewiesenen Flächen als gering bevorratet sowie sowohl quantitativ wie qualitativ und von den Holzarten her in einer Weise bestockt ist, die herkömmliche Industriebolz-Nutzungsmethoden, sei es als reine Industriebolz-Kahlhiebs nord-europäischer Prägung oder als die Stark- und Wertholz begleitende Industriebolzgewinnung aus Vor- und Endnutzungen, ausschließt. Selbst bei dringendstem Industriebolzbedarf dürfte es dennoch weiterhin aus volkswirtschaftlichen Gründen nicht vertretbar sein, die wenigen qualitativ und von der Dimension her besseren Waldbestände einer Nutzung in der Papier-, Zellstoff- oder Plattenindustrie zuzuführen, da die zukünftige Versorgungsknappeit mit höherwertigem Holz (Sägeholz, Furnierholz) eher noch ausgeprägter als die heute gegebene Industriebolzknappheit sein dürfte.

Einen Ausweg aus diesem kurz- und mittelfristig gegebenen Versorgungsdilemma eröffnet die intensivere Nutzung des zwar qualitativ zunächst nicht befriedigenden, aber immerhin vorhandenen Rohstoffes der niederkwaldähnlichen Waldformen des Iran. Weiterhin erscheint es denkbar, in bestimmten, klimatisch besonders geeigneten Regionen mittelfristig spezielle Industriebolz-Plantagen raschwüchsiger Baumarten im Kurzumtrieb zu bewirtschaften, bis die heute nach den Gesetzen des mitteleuropäischen Waldbaus begründeten Bestände den Hauptanteil der verwertbaren Hölzer zu liefern in der Lage sein werden.

Tab. 2: Waldverhältnisse des Iran

I. Waldfläche:			
Waldfläche (Mio ha)	Bewaldung %	Waldfläche je Einwohner (ha)	Nach
a) 12,0	7,0	0,38	FAO 1)
b) 18,0	11,0	0,56	SIF 2)
II. Waldzustand:			
Waldformation	Kaspische Wälder (verbr.i.Norden)	Eichenwälder (verbr.i.Westen)	Sonstige Wald- formationen
Fläche (Mio ha)	3,4	5,0 (FAO) 10,0 (SIF)	3,6 (FAO) 4,6 (SIF)
1) Bestockungsgrad über 10% unter 10%	1,6 Mio ha(48%) 1,8 Mio ha(52%)	licht	licht
2) Wirtschaftswald	1,3 Mio ha(39%)	?	-
3) Holzvorrat (Mio Efm m.R.) a) nach FAO b) nach SIF	500,0 381,0	100,0	sehr gering
4) Gesamtzuwachs (Mio fm/Jahr) a) nach FAO b) nach SIF	10,0 4,7	1,0	-
5) Holzarten und -anteil	HBu(25%),BU (17,5%),Ei (6,6%),s.LBh. (50,4%)u. Na- delh. (0,5%)	überwiegend persische Ei	Pistazien, Mandel, Juniperus u. s.LBh.
Hinweise: Vom Standpunkt der Forst- u. Holzwirtschaft kommt nur den Kaspischen Wäldern größere Bedeutung zu. Die übrigen Waldformationen sind dagegen hauptsächlich in landeskultureller Hinsicht von Bedeutung.			

1) FAO 1961; 2) Statistik der Iranischen Forstverwaltung (SIF) 1965

Sowohl derartige Industrie-Holzplantagen als auch die in vieler Hinsicht verwandte Niederwaldbewirtschaftung traditioneller Prägung weist zur Deckung eines rasch wachsenden Industriebolzbedarfs charakteristische, besonders vorteilhafte Eigenschaften auf: Einfache Begründung, vergleichsweise geringe Kulturkosten, Pflegeextensität, kurze Umtriebszeit, hohe Gesamtwuchsleistung, schneller Kapitalumsatz. Diesen positiven Gesichtspunkten steht eine aus der Sicht der traditionellen Holzverwendung und -verwertung ungenügende Wertleistung gegenüber, die in Mitteleuropa zum fast vollständigen Verschwinden dieser Betriebsformen geführt hat.

Unter den veränderten Zielsetzungen eines in Entwicklung befindlichen Landes, mit stark expandierender Holzindustrie und dem Zwang zur Selbstversorgung, können die genannten Vorteile jedoch vor allem dann erhebliche Bedeutung gewinnen, wenn es gelingt, durch geeignete Nutzungstechnologien das Hauptziel der Erzeugung von möglichst viel industriell verwertbarer Holzmasse kostengünstig zu erreichen. Hierzu scheint sich in besonderem Maße die Technologie der Ganzbaumhackung zu eignen. Mit ihr sollte es möglich sein, die bei jüngeren Beständen und raschwüchsigen Baumarten weniger im Schaft als vielmehr in den Zweigen, Ästen, Nadeln bzw. Blättern und unter Umständen den Wurzeln konzentrierte Biomasse zu ernten und einer industriellen Verwertung zuzuführen.

Die Ganzbaumhackung als Technologie zur Nutzung eines größeren Anteils der in Waldbeständen produzierten Biomasse wird weltweit seit einigen Jahren sowohl unter technischen wie auch unter ertragskundlichen und ökologischen Gesichtspunkten diskutiert. Dabei werden folgende Problemkreise erörtert:

- Ausmaß und Struktur des durch die Ganzbaumnutzung möglichen Mehraufkommens an Holzmasse,
- Technologie und Organisation der Ganzbaumernte einschließlich -hackung,
- Verfahrenstechnologie und Produkteigenschaften der aus den Ganzbaum-Hackschnitzeln hergestellten Holzwerkstoffe.

Dabei wurden für einzelne Versuchseinsätze, bestimmte Regionen oder spezielle Verwertungsmöglichkeiten, Hinweise und vorläufige Antworten gefunden, die es einerseits erlauben, die intensivere Holznutzung durch Hackung zukünftig mit einem gewissen Optimismus zu betrachten, die aber andererseits auch zahlreiche Fragen offen lassen.

1.2. Problemstellung

Die eingangs charakterisierte Versorgungslage der Holzindustrie im Iran und die mit der Technologie der Ganzbaumnutzung durch Hackung bisher gemachten Erfahrungen führen zur zunächst allgemein formulierten Problemstellung der vorliegenden Arbeit:

Erscheint es möglich, in Plantagen- bzw. Niederwaldform und kurzen Umtriebszeiten bewirtschaftete Wälder im Iran durch Ganzbaumnutzung zur Versorgung einer expandierenden Holzwerkstoffindustrie heranzuziehen?

Die Komplexität der generellen Fragestellung einerseits und die begrenzten zeitlichen, sachlichen und personellen Möglichkeiten im Rahmen der vorliegenden Arbeit andererseits und auch das Bestreben, möglichst konkrete, praktisch verwertbare Angaben zu erarbeiten, gebieten zwangsläufig eine Einengung dieser weitgefaßten Fragestellung, und zwar in dreierlei Hinsicht:

- bezüglich der Verwendung der Biomasse, hier konzentriert sich die Untersuchung auf die Spanplattenerzeugung;
- bezüglich der zu untersuchenden Baumarten, hier wurde *Pinus nigra* Arn. sowie *Robinia pseudoacacia* L. gewählt;
- bezüglich der waldbaulichen Betriebsform, hier soll der niederwaldähnliche Kurzumtrieb untersucht werden.

In der Folge soll diese Spezifizierung der Fragestellung kurz begründet werden:

a) Die Frage nach der Auswahl des Industriezweigs:

Das Biomassematerial aus Niederwäldern bzw. Kurzumtrieben sollte

industriell einer Verwertung zugeführt werden. Damit stellte sich die Frage, für welche Zwecke dieses doch zum Großteil, im Vergleich zum Schaftholz minderwertige, heterogene Material, bestehend aus Holz, Rinde und Nadeln bzw. Blättern, am ehesten eingesetzt werden kann. Grundsätzlich bieten sich die Technologien der Zellstoffherzeugung, insbesondere des Sulfatverfahrens, sowie der Span- und Faserplattenherstellung an. Wollte man eine optimale Verwertungsmöglichkeit des Biomassematerials finden, müßten Optimierungsstudien in beiden Bereichen angestellt werden. Da es sich bei der Zellstoffherstellung um ein relativ kompliziertes und aufwendiges Verfahren handelt und die Anforderungen an das Ausgangsmaterial im Vergleich zu Spanplatten heute doch noch höher sind, beschränkt sich diese Arbeit darauf, die Biomasse der genannten Holzarten, Robinie und Schwarzkiefer aus jüngeren Beständen, auf ihre Verwertbarkeit als Spanplattenrohstoff zu untersuchen.

Weiterhin spricht für die vordringliche Untersuchung der Spanplattenindustrie als möglichem Abnehmer von Ganzbaumhackschnitzeln die technologische und kapazitätsmäßige Flexibilität der Fertigungstechnologien.

Die Herstellung von Sulfatzellstoff bedingt zwangsläufig den Einsatz von kapitalintensiven, vollautomatisierten, Fertigungsanlagen, während die arbeitsplatzschaffenden Impulse, auch in den nachgelagerten Fertigungsbereichen vergleichsweise gering sind. Die Spanplattentechnologie dagegen ist hinsichtlich der erforderlichen Mindestkapazität und in bezug auf den zu wählenden technischen Standard flexibel, das bedeutet, daß einmal in der Fertigung selbst relativ arbeitsintensive Methoden zur Anwendung gelangen können, was den Zielsetzungen einer allgemeinen Industrialisierungspolitik eines sich in Entwicklung befindlichen Landes entgegenkommt. Weiterhin sind Spanplatten als typische Zwischenprodukte Ausgangsbasis für eine weit verzweigte, kleinindustrielle und handwerkliche Fertigung, z.B. von Fertigbauteilen oder Möbeln, so daß auch im nachgelagerten Bereich günstige strukturelle Einflüsse erwartet werden können. Auch

aus dem Gesichtspunkt einer zielgerichteten Industrialisierungspolitik bringt also die Option der Verwertung von Ganzbaum-Hackschnitzeln in einer Spanplattenindustrie gewichtige entwicklungspolitische Vorteile mit sich.

b) Die Frage nach Auswahl der Baumarten:

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit standen hier prinzipiell drei Möglichkeiten zur Wahl:

- es konnte aus den im Iran natürlich vorkommenden Baumarten ein Untersuchungsobjekt ausgewählt werden,
- es konnte anhand von in Deutschland heimischen, bedeutenden Baumarten Untersuchungsmethodik und Vorgehen modellhaft dargestellt werden,
- es war möglich, Baumarten auszuwählen, von denen aufgrund ihrer Standorteigenschaften, ihrer Wuchsleistung und ihrer Holzqualität erwartet werden kann, daß sie für das Anbauprogramm des Iran zukünftig eine Rolle spielen können.

Der erste Weg wurde geprüft und mit der forstlichen Fakultät in KARAJ/IRAN abgeklärt, insbesondere mit dem Institut für Holztechnologie. Obwohl eine besondere Bereitschaft zur Kooperation ausgedrückt wurde, machten es sachliche (finanzielle und Transport-) Probleme unmöglich, diesen Weg zu beschreiten. Das zweite Vorgehen wäre insofern von geringerem Erkenntniswert gewesen, als die für die in Deutschland häufig vorkommenden Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer (*Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus silvestris*) und auch die Buche (*Fagus silvatica*) Vorstellungen über die Biomasseproduktion in jüngeren Beständen vorliegen.

Aufgrund dieser Sachlage wurde der dritte Weg beschritten, von dem erwartet werden konnte, daß der ebenso wie die zweite Möglichkeit zur Klärung aller methodischen und prinzipiellen Fragen beitragen würde, aber auch zusätzlich praxisrelevante Informationen über einen in Persien unter Umständen möglichen Anbau zweier Baumarten

liefert, die auch nach Aussagen von Waldbauexperten mit gewisser Wahrscheinlichkeit Bedeutung erlangen könnten.

Aufgrund dieser Überlegungen wurden die Baumarten *Pinus nigra* Arn. und *Robinia pseudoacacia* L. ausgewählt, deren hohe Massenleistung und gute Anpassungsfähigkeit diese als Pionier- und Plantagenbaumart auch unter iranischen Anforderungen interessant erscheinen lassen.

c) Die Frage nach der Betriebsart

Die in Mitteleuropa früher ausgedehnte Niederwaldwirtschaft diente in erster Linie der Bereitstellung von Massensortimenten wie z.B. Brennholz, Gerbrinde usw. Sie hatte in allen europäischen Ländern mit Zunahme der Bevölkerung nach der Siedlungsperiode vorübergehend eine große Bedeutung erlangt und war besonders in Südeuropa und Frankreich lange weit verbreitet. Der Anteil der Niederwälder ist weltweit heute immer noch sehr groß. Die Vorteile des Niederwaldbetriebes liegen vor allem in der Technik der Bewirtschaftung: einfache Begründung, geringe Kulturkosten, sehr pflegeextensiv, kurze Umtriebszeit, hohe Volumenleistung, geringe Kostenbelastung und schneller Kapitalumsatz.

Angesichts der Zielsetzungsveränderungen der Forstbetriebe haben die Niederwälder Mitteleuropas in den letzten 30 Jahren völlig an Bedeutung verloren. Trotz hoher Volumenerträge sank der Wertertrag immer stärker ab, und wäre heute defizitär. Bei steigenden Lohnkosten verursachten die schwachen Sortimente zunehmend hohe Erntekosten, so daß die Bewirtschaftung der Niederwälder auch aus diesem Grunde mit dem Rückgang und der Intensivierung der Landwirtschaft stark vernachlässigt oder aufgegeben wurde. Sie sind heute in europäischen Ländern zum größten Teil in Hochwald umgewandelt oder stehen zur Umwandlung an.

Als Alternative zu den lohnintensiven und teuren Umwandlungsverfahren bietet die Ganzbaumhackung die Möglichkeit, das Holz günstig aufzuarbeiten. Hierdurch haben einige Charakteristika des Niederwaldbetriebes einen neuen Aspekt erhalten: Das Massensortiment Hackschnitzel ist, z.T. verbunden mit relativ geringen Qualitätsansprüchen, ein wichtiges Rohprodukt. Dies gilt besonders bei Weiterverarbeitung in der Spanplattenindustrie. Konventionelles 1 u. 2m langes Industrie- und Brennholz wird heute immer mehr als stark kostenbelastetes Nebenprodukt einer pflegeintensiven Wertholzzucht bereitgestellt. Im Gegensatz dazu können Ganzbaumhackschnitzel auch aus Mittel- und Niederwald aus mehreren Gründen rationeller bereit gestellt werden, Dank moderner Hacker kann die Technik als weitgehend gelöst betrachtet werden.

Von Bedeutung besonders für die Auslastung solcher mobilen Hacker ist der konzentrierte Anfall von Holz auf der Schlagfläche. Im Niederwald bzw. Kurzumtrieb wird die gesamte Biomassemenge in einem Kahlhieb genutzt und im Gegensatz zum Hochwaldbetrieb (differenzierte Stammholznutzung) das gesamte Material gehackt. Dies ermöglicht von vorneherein einen hohen Grad der Mechanisierung in der Holzernte und des Maschineneinsatzes.

Durch die mit der Umtriebszeit verbundene hohe Volumenleistung an Biomasse können in kürzeren Zeitabständen auf gleicher Fläche größere Rohstoffmengen bereitgestellt werden. Hierdurch wird die Möglichkeit geschaffen, auf rasche Marktveränderungen flexibler zu reagieren. Diese Frage kann besonders beim Schließen von kurzfristigen Versorgungslücken der Holzverarbeitenden Industrie aktuell werden.

Verkürzte Umtriebszeiten und die gesamte Nutzung der Biomasse über die Ganzbaumhackung bieten die Möglichkeit, die hohe Leistung solcher Bestände auszunutzen und dadurch zu einer höheren Massenausbeute und damit in gleichen Zeiträumen zu höheren Flächenproduktivitäten zu kommen als im normalen Hochwald (GRAMMEL, 1976).

In dem, wie dargestellt, eingegrenzten Rahmen sind Überlegungen und Untersuchungen auf dem Gebiet der Spanplattentechnologie sowie der Holzerntetechnik, aber auch der Ertragskunde und des Waldbaus auf geeignete Weise zusammenzufassen, um eine umfassende Beantwortung der komplexen Fragestellung zu ermöglichen. Zusätzlich werden ökologische Aspekte der Verwertung von Ganzbaum-Hackschnitzeln angesprochen werden müssen.

Die Komplexität der Fragestellung einerseits und die notwendigerweise örtlich und zeitlich begrenzten Möglichkeiten der vorliegenden Arbeit andererseits verbieten eine in allen angesprochenen Bereichen gleich intensive und auf "endgültige Ergebnisse" abgestellte Untersuchungsmethodik. Vielmehr sollen in der vorgelegten Studie die waldbaulich-ertragskundlichen Aspekte überwiegend modellartig-beispielhaft behandelt werden, während der experimentelle Schwerpunkt der Arbeit auf dem spanplattentechnologischen Sektor liegen wird.

In diesem Rahmen sollen folgende, konkrete Fragen einer Klärung nähergeführt werden:

1. Waldbaulich-ertragskundliche Untersuchungen

- a) In welche Baumbestandteile läßt sich bei den Beispielsbaumarten *Pinus nigra* und *Robinia pseudocacia* die Biomasse unterteilen, wie sind diese vor allem holztechnologisch zu charakterisieren?
- b) Welche Flächenproduktivität und Rohstoffausbeute können bei Ganzbaumnutzung von Niederwäldern im Kurzumtrieb erwartet werden, und welche Rückwirkungen hat dies auf die Erntetechnologie?

2. Holztechnologische Untersuchungen

- a) Wie sind verschiedene Typen von aus Biomasse hergestellten Spanplatten im Vergleich zu Normalplatten in Bezug auf ihre wichtigsten technologischen Eigenschaften zu beurteilen?

- b) Welche Auswirkungen hat die - gegenüber Spanplatten aus Schaftholz - unterschiedliche Strukturzusammensetzung der Biomassehackschnitzel auf die Spanplattenherstellungstechnik?

3. Holzerntetechnische Konsequenzen

- a) Welche alternativen Holzerntetechniken bieten sich zur Bereitstellung von Ganzbaum-Waldhackschnitzeln aus den beschriebenen Waldformen an, welches sind die wichtigsten Kennziffern (z.B. Produktivität, Arbeitsintensität, Kapitalbedarf) dieser Holzerntetechnologien?
- b) Welche organisatorische Gestaltung (Holzernteketten) ist geeignet und notwendig, um die mittelfristig nachhaltige und gleichmäßige Versorgung eines Spanplattenwerks mit entsprechender Kapazität und Technologie zu gewährleisten?

4. Ökologische Nebenfragen

Charakterisierung der ökologischen Restriktionen, insbesondere im Bezug auf Humusverarmung und Erosionsgefahr bei der Ganzbaumnutzung in Niederwäldern.

2. MODELLHAFTE UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER AUSBEUTE AN BIOMASSE AUS JUNGBESTÄNDEN DER BAUMARTEN PINUS NIGRA UND ROBINIA PSEUDOACACIA

2.1. *Übersicht über bisherige Untersuchungen zur Charakterisierung und Quantifizierung der Biomasse*

Eine Charakterisierung, d.h. Kennzeichnung von Baumbestandteilen kann z.B. unter morphologischen, biochemischen, physiologischen usw. Gesichtspunkten erfolgen. Dementsprechend ist die Palette der zu einer derartigen Charakterisierung heranzuziehenden Parameter außerordentlich vielgestaltig und umfangreich:

Eigenschaften wie Form, Farbe, Gestalt, Zellaufbau sowie chemischer Aufbau können ebenso wie physikalische Werte (Dichte, Wassergehalt usw.) Verwendung finden. Da der vorliegende Beitrag auf eine verwendungsorientierte Untersuchung abzielt, sollen im Folgenden die Baumbestandteile pragmatisch mit möglichst wenigen Parametern nur insoweit gekennzeichnet werden, als es die spätere Holzverwendung im Rahmen der Spanplattentechnologie voraussichtlich für zweckmäßig und erforderlich erscheinen läßt.

Bevor Methodik und Ergebnisse der eigenen Untersuchungen dargestellt werden, sollen in einem kurzen Abriß einige wichtige, derzeit auf dem Sektor der Biomasse-Charakterisierung vorliegende Ergebnisse dargestellt werden, um a) die möglichen Ansätze zu zeigen und b) einen Bezugsrahmen zur Beurteilung der eigenen Ergebnisse geben zu können. Die unterschiedliche Zielsetzung, das unterschiedliche Untersuchungsmaterial (Baumarten, Wuchsgebiete, Baumalter) sowie die verschiedenen zur Anwendung gelangten methodischen Ansätze ergeben zwangsläufig, daß die Ergebnisse jeweils keinesfalls hinsichtlich der direkt bestimmten Größen, sondern allenfalls in ihrer Tendenz miteinander verglichen werden können.

Die im Rahmen des Literaturstudiums ausgewerteten Untersuchungen anderer Autoren befaßten sich vornehmlich mit verschiedenen Pinusarten, verschiedentlich wurden aber auch Untersuchungen bei Laubbaumarten durchgeführt.

Im Rahmen des Projekts IBP haben BISKUPSKY und OSZLANYI (1977) eine Ermittlung der Biomasse von Bäumen bei Weißbuche, Feldahorn, Zerreiche und Wintereiche durchgeführt, wobei das Ziel die Bestimmung des Rindenanteils an der oberirdischen Biomasse der Bäume war. Die oberirdische Biomasse wurde dabei in Laub, Holz und Rinde unterteilt. Es handelt sich um einen ungleichaltrigen (im Mittel 78jährigen) Untersuchungsbestand. Die gesamte Biomasse betrug 161,43 t atro/ha, die sich prozentual wie folgt verteilte:

Holzmasse 83,1%

Rindenmasse 14,7%

Laubmasse 2,2%.

Die durchschnittlichen prozentualen Gewichtsanteile der Rinde an der Gesamtbiomasse (atro) wurden wie folgt ermittelt (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Prozentuale Gewichtsanteile der Rinde (atro) verschiedener Holzarten

BHD-Bereiche (cm)	Krone	Stamm	Insgesamt	Holzart
bis 44	16,5	8,1	10,7	Weißbuche
bis 36	19,1	9,9	12,6	Feldahorn
bis 68	31,5	18,6	21,5	Zerreiche
bis 48	30,4	15,6	18,7	Wintereiche

SIMOLA (1975) hat am Beispiel der Grünerle (*Alnus incana*) im Rahmen von Biomasseuntersuchungen in Finnland auf zwei Versuchsflächen (Vorrat:

50 Fm je ha bzw. 115 Fm/ha) folgende prozentuale Verteilung der Biomasse (Prozentanteile Frischgewicht) gefunden, wobei das oberirdische Stammholz in drei Stärkestufen eingeteilt wurde (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Prozentuale Verteilung der Biomasse der Grünerle (Frischgewicht)

Teilflächen	> 7 cm ϕ	5 - 7 cm ϕ	< 5 cm ϕ	Äste
I) BHD = 4,9cm	23,6	24,5	29,8	22,1
II) BHD = 4,6cm	28,7	24,7	34,6	12

Zahlreicher sind die für die verschiedenen Kiefernarten angestellten Untersuchungen: HAKKILA und Mitarbeiter (1977) haben anhand von umfangreichem Datenmaterial zur Bestimmung der oberirdischen Biomasse (Frischgewicht und Frischvolumen) aus verschiedenen baumspezifischen Parametern für südfinnische Kiefern Regressions-Gleichungen hergeleitet, wobei die Gleichungen sowohl für Stamm und Äste getrennt wie auch für den Ganzbaum insgesamt aufgestellt wurde:

$$\text{Stamm } y_1 = 0,098 \cdot x_1^{1.8851} x_2^{0.7178} \quad x_1 = \text{BHD in cm}$$

$$\text{Äste } y_1 = 0,210 \cdot x_1^{2.9553} x_2^{-1.884} \quad x_2 = \text{Baumhöhe in m}$$

$$\text{Ganzbaum } y_1 = 0,218 \cdot x_1^{2.1917} x_2^{0.1852} \quad y_1 = \text{Frischgewicht in kg}$$

Weiterhin fand HAKKILA eine durchschnittliche prozentuale Verteilung der oberirdischen Biomasse in die Bestandteile Schaftderbholz, Schaftderbholz und Äste. Gleichfalls wurden Aussagen über den prozentualen Rinden- und Nadelanteil, nach BHD-Stufen differenziert, getroffen. Die sehr detaillierten Unterlagen von HAKKILA haben jedoch nur für den vergleichsweise engen Bereich der südfinnischen Kieferbestände in der Phase der ersten Durchforstung Gültigkeit.

Weiterhin wurden für mittelamerikanische Kiefernarten verschiedene Untersuchungen zur Biomassebestimmung angestellt. So z.B. von CLARK (1978) u.a. wurden in 18jährigen *Pinus elliotti*- und *Pinus taeda*-Plantagebeständen die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Verteilungen auf die morphologisch definierten Baumbestandteile einerseits und die Bestandteile Holz, Rinde und Blätter andererseits gefunden (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: Prozentuale Verteilung der Biomassebestandteile

Baum- anteile	Holz			Rinde			Nadeln
	Stamm	Äste	Wurzel	Stamm	Äste	Wurzel	
Durch- schnitts- wert	57	13	12	8	4	1	5
Summe	82			13			5

Ergänzend können die ebenfalls für südliche Kiefernarten der USA geltenden Forschungsergebnisse von RALSTON, WELLS und SPROLL mitgeteilt werden (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Anteile der ober- und unterirdischen Biomasse verschiedener Alter

Holzart	Alter (Jahre)	Gesamtbiomasse in %		Quelle
		oberirdisch	Wurzel	
<i>Pinus taeda</i>	13	84	16	RALSTON, 1973
<i>Pinus taeda</i>	16	81	19	WELLS, 1975
<i>Pinus elliotti</i>	17	77	23	SPROULL, 1957

Für *Pinus virginiana* führte MADGWICK (1968) Biomasseuntersuchungen durch, deren Ergebnis in der nachstehenden Tabelle zusammengefaßt wird (vgl. Tab. 7):

Tab. 7: Oberirdische Biomasse eines *Pinus virginiana*-Bestandes

Bestandteil	Verteilung in %
Stämme	65
Äste	25
Nadeln	9,6
Blüten und Zapfen	0,4

Bestandesgrundfläche: 25,3 qm/ha

Spitzenhöhe: 8,6 m

Stammzahl: 5750/ha

WERNIUS teilt 1975 entsprechende Untersuchungsergebnisse für Fichte sowie Kiefer mit (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Verteilung der Biomasse in % (atro-Gewichte)

Holzart	Bestand	Stamm- holz m.R.	Äste	Wipfel	Nadeln	Stock + Wurzeln
Fichte	Läuterung BHD=10cm	44,5	23	9,2	14,4	8,9
Fichte	Durchforstung 11-15cm BHD	57,6	18,2	6,0	6,7	11,5
Kiefer	Läuterung 10cm BHD	55,8	13,6	10,4	8,6	11,1
Kiefer	Durchforstung 11-15cm BHD	66	11,3	4	5,5	13,2

Schließlich sind die von YOUNG u.a. im Jahre 1964 aufgestellten Massentafeln für 7 verschiedene amerikanische Laub- und Nadelbaumarten zu erwähnen, in denen prozentual die Anteile von Schaft, Ästen, Stubben sowie Wurzeln am Gesamtrockengewicht der Bäume angegeben werden. Eignungsgrößen in der Tafel sind die Baumdurchmesser sowie die Baumhöhen.

Auch für deutsche Verhältnisse und Baumarten wurden in jüngster Zeit verschiedene Untersuchungen zur Biomassebestimmung angestellt, so von SCHÄFER (1977), der in Kiefernjungbeständen der südlichen Oberrheinebene an *Pinus nigra* und *Pinus silvestris* die in Tab. 9 dargestellten Ergebnisse fand:

Tab. 9: Durchschnittliche Verteilung der Biomasse auf die einzelnen Baumteile

Baumteil	18jährig <i>Pinus silvestris</i>	17jährig <i>Pinus nigra</i>
Stammholz	38,2	31,7
Stammrinde	11,7	13,9
Zweige	24,8	20,2
Nadeln	10,5	19,0
Wurzeln ¹⁾	14,8	15,2
Summe der Biomasse	100 %	100 %

1) bezogen auf Grob-, Mittel- und Feinwurzeln

Die gesamte Biomasse betrug für *Pinus silvestris* 74,41 t atro/ha, bei *Pinus nigra* 84,93 t atro/ha.

MAY (1976) hat für Kieferdurchforstungsbestände in der Lüneburger Heide in drei verschiedenen Altersklassen, jeweils an 5 Bäumen, durchschnittliche Gewichtsanteile (atro) von Holz, Rinde und Nadeln ermittelt; die aus einem von ihm aufgestellten Diagramm abgelesenen Werte sind in Tab. 10 dargestellt:

Tab. 10: Prozentualer Anteil von Holz, Rinde und Nadeln am Trockengewicht von Kiefern verschiedener Alter

Bestandteil	7jährige	20jährige	32jährige
Holz	54	77	80
Rinde	22	19	16
Nadeln	24	4	4

CHEN und PAULITSCH (1974) haben anhand von 3 Bäumen, die für den mittleren Brusthöhendurchmesser des untersuchten Bestandes repräsentativ waren, für Kiefern sowie Fichten-Läuterungen und -Durchforstungen Anhaltswerte für die Aufteilung in Schaftholz und Äste einschl. Nadeln gefunden:

	Kiefer			Fichte			
	Läuterung		Durchforstung	Läuterung		Durchforstung	
	14 Jahre	32 Jahre		27 Jahre	rd. 32 Jahre		
	Sturmholz			Sturmholz		Sturmholz	
	%	%	%	%	%	%	%
Schaftholz	57	80	84	60	60	55	88
Nadeln und Äste	43	20	16	40	40	45	12

Weitere Untersuchungen zur Biomassebestimmung finden sich u.a. bei VIRKOLA (1976).

Weiterhin erwähnenswert sind die Arbeiten von GISLERUD (1974), HAKKILA (1975) und ESKILSSON (1972) sowie PALENIUS (1974), die Untersuchungen zur Raumdichte der verschiedenen Baumbestandteile, differenziert nach Durchmesser-Stärken, angestellt haben. Diesen umfangreichen Arbeiten wurden die folgenden zusammengefaßten Werte entnommen:

Die Raumdichte (kg/m^3) von Kiefern- bzw. Fichtennadeln schwanken zwischen 350 und 370 kg je m^3 . Die Äste von Kiefern zeigten eine Zunahme der Raumdichte mit dem Astdurchmesser, bei der Fichte wurde eine gegenläufige Beziehung gefunden, während bei der Birke keine systematische Abhängigkeit nachgewiesen werden konnte. Beim Schaftholz der Kiefer schließlich wurden für Stammholz und Wipfel Werte von 400 kg/m^3 bzw. 372 kg/m^3 angegeben, während bei der Fichte keine derartige Differenzierung hinsichtlich der Raumdichte von Schaft- und Wipfelholz nachgewiesen werden konnte.

Die vorstehend beispielhaft angeführten Untersuchungen zeigen die Vielfältigkeit der bisher angestellten Messungen, die jedoch kaum eine direkte Vergleichbarkeit ermöglichen. Zur Erklärung des in dieser Arbeit anstehenden Untersuchungsgegenstandes schien es deshalb unerlässlich,

- eine der Fragestellung adäquate Unterteilung der Biomassebestandteile vorzunehmen und
- zumindest einige charakteristische Messungen zur Bestimmung der absoluten und relativen Anteile dieser Baumbestandteile sowie ihrer wichtigsten holztechnologischen Eigenschaften durchzuführen.

2.2. Charakterisierung der zur Bestimmung der Biomasse im Hinblick auf die Verwendung zur Spanplattenherstellung relevanten Baumbestandteile

2.2.1. Zusammensetzung der Biomasse

Unter dem weitgefaßten Begriff Biomasse kann entweder die substantielle Zusammensetzung nach Holz, Rinde und Nadeln bzw. Laub oder die morphologische Gliederung der Baumbestandteile, bei der der Stamm nach verschiedenen Durchmesserstärken aufgeteilt wird, dargestellt werden.

Eine Unterteilung der Biomasse in Holz, Rinde und Grünteile erscheint schon deshalb notwendig, da es sich hierbei um im Hinblick auf ihren chemischen und physiologischen Aufbau grundverschiedene Stoffe handelt. Selbst wenn die unterschiedliche Elementar- und molekulare Zusammensetzung im Hinblick auf die Herstellung von Spanplatten vernachlässigt werden könnte, so bestimmt der differenzierte Zellaufbau und die Formation der einzelnen Zellbestandteile den Wert der Biomasse für diesen Verwertungszweig in erheblichem Maß.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß auch innerhalb der einzelnen Biomassebestandteile beträchtliche Schwankungen hinsichtlich der oben angeführten Merkmale vorhanden sind. Weiterhin sind in bezug auf die

Spanplattenherstellung die unterschiedlichen pH-Werte der Biomassebestandteile sowie ihre Extraktstoffgehalte von Wichtigkeit, da die Festigkeit sowie sonstige Qualitätseigenschaften der fertigen Platten ebenso wie ihre Herstellung (Verleimungstechnik) maßgeblich bestimmen. Als Beispiel für mögliche Variationen dieser Faktoren selbst in eng begrenzten Untersuchungskollektiven seien die Ergebnisse von CHEN und PAULITSCH (1974) dargestellt, die sich auf die oberirdische Biomasse jüngerer Hiebe und Bestände bezogen (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: pH-Werte und Extraktstoffgehalt der einzelnen Bestandteile der oberirdischen Biomasse von Kieferbeständen nach CHEN und PAULITSCH (1974)

Untersuchtes Material	pH-Wert	Extraktstoffgehalt Gew.-%	
		Hexan ¹⁾	Äthanol ²⁾
Holz - Läuterung	4,5	2,8	2,1
- Durchforstung	4,4	2,6	1,7
Rinde - Läuterung	4,0	6,6	16,1
- Durchforstung	4,0	5,1	13,2
Nadeln - Läuterung	5,0	9,8	18,4
- Durchforstung	5,1	9,8	17,3

1) Extraktion von Ölen, Fetten und Wachsen

2) Extraktion von phenolischen Bestandteilen (Gerbsäuren, Phlobaphene)

Danach haben Nadeln und Rinde gegenüber Holz einen höheren Extraktstoffgehalt; die Unterschiede zwischen den pH-Werten der Rinde und des Holzes sind wesentlich geringer als die Unterschiede zu den Nadeln.

Während die substantielle Zusammensetzung der Biomasse allein verwendungsorientiert geschieht, steht die morphologische Unterteilung des Stammes und damit ganzer Bestände zusätzlich in einer engen Wechselbeziehung zur Holzernte. Zum einen geben die jeweiligen Durchmesser u.a. die Wahl der Erntetechnik vor, zum anderen erfolgt die Einteilung

des Stammes zum Teil aufgrund technischer Erfordernisse. So ist für eine genaue Aussage über die mögliche Mehrausbeute ¹⁾ eine Vorstellung über morphologische Zusammensetzung der Biomasse nach Baumteilen notwendig. Eine derartige Quantifizierung der Biomasse begünstigt vor allem in niedrigen Durchmesserstufen die Ganzbaumhackung. Unter niedrigen Durchmesserstufen versteht man Dimensionen unterhalb der Derbholzgrenze, für die bisher im Gegensatz zur Ganzbaumnutzung, die in Läuterungen und Durchforstungen (geometrische Pflegeeingriffe wie Reihentnahme) notwendig erscheint, Massenangaben nicht von Bedeutung waren.

Bei grober Einteilung des Baumes in seine morphologischen Bestandteile kann in Krone, Stamm und Stock plus Wurzel unterschieden werden, wobei das Stammholz bis zum Stammholzzopf und das darüber liegende Reststück in die Kronenmasse eingeht. Die Krone selbst kann bei einer relativ besseren Unterteilung in Äste, Wipfel und Belaubung (vgl. WERNIUS, 1975) oder in Industrieholzzipfelstück der herkömmlichen Aufarbeitung und in Ast- sowie Reismaterial (vgl. WOLF, 1974) untergliedert werden.

Da sich die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit auf Schwachholz beziehen, das nur als Massenware aufgearbeitet werden sollte, da nach HAKKILA (1977) eine weitere differenzierte Sortenbildung nur geringe Mehrerlöse, aber wesentlich höhere Erntekosten verursachen würde und somit der Durchmesser als einziges Kriterium verbleibt, kann hier die Aufgliederung der Holzmaßenweisung ²⁾ (vgl. HOMA, 1936) nach Durchmesserstärke übernommen werden:

-
- 1) Unter Mehrausbeute wird der Teil der Biomasse verstanden, der im Rahmen der konventionellen Holzernte bisher noch nicht oder nicht mehr genutzt wird (Laub- bzw. Nadelmasse, Reisig, Rinde und Wurzel).
 2) In der HKS 1969 nicht enthalten

- Stockholz: Unterirdisches Holz und der nach der Fällung an diesem verbleibende Teil des Schaftes
- Derbholz: Schaftderbholz und Astderbholz, also die oberirdische Holzmasse über 7 cm ϕ m. Rinde unter Ausschluß des bei der Fällung am Stocke bleibenden Schaftholzes
- Reisholz: Schaftreisholz und Astreisholz, also die oberirdische Holzmasse unter 7 cm ϕ m. Rinde.

Während der Holzerntearbeiten bricht ein großer Teil des Feinreisigs ab und bleibt im Bestand zurück (vgl. BECKER und PFEIL 1974). Andererseits ist der Baumholzmasse alter Definition im Rahmen der Ganzbaumnutzung die Menge Nadeln bzw. des Laubs zuzurechnen, da diese zumindest teilweise ebenfalls im Ganzbaummaterial enthalten ist. Daher wird das Reisholz zusätzlich in Grob- und Feinreisig unterteilt:

- Grobreisig: Holzmasse von 2-7 cm ϕ m. Rinde
- Feinreisig: Holzmasse unter 2 cm ϕ m. Rinde einschl. Laub- und Nadelmasse.

Zur Wurzel zählen alle Teile wie Wurzel- und Stockholzmaterial, die bei Anwendung eines Ganzbaumernteverfahrens, d.h. einer Nutzung des Holzes in einem Radius von 30 cm um den Stubben und bis zu einer Tiefe von 50 cm, anfallen würden. In diesem Bereich befindet sich nach SCHAFER (1977) die überwiegende Wurzelmasse.

Den Biomasseuntersuchungen (vgl. Abschn. 2.2.5.1.) ist somit folgendes Schema (am Beispiel eines Nadelbaumes) zugrundegelegt (Abb. 1):

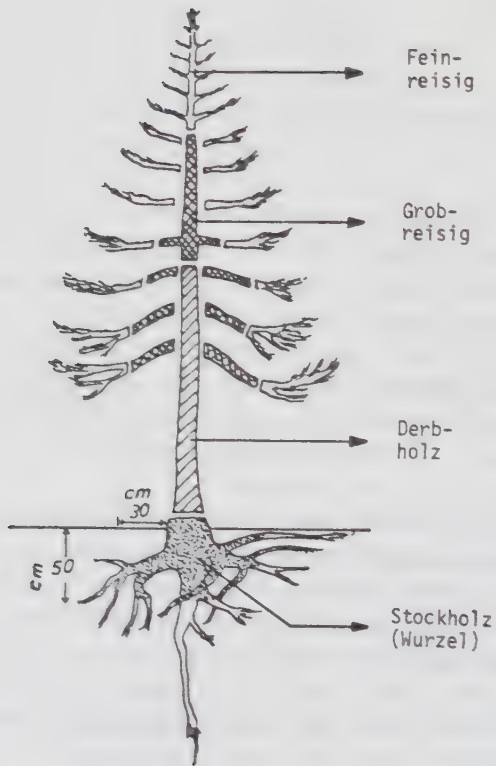


Abb. 1: Aufgliederung eines Nadelbaumes
in seine morphologischen Bestand-
teile

2.2.2. Gewicht der Biomasse

Die Holzdichte hat eine wesentliche Bedeutung für die Spanplattenherstellung. In der Holztechnologie werden vier verschiedene Dichtebegriffe unterschieden, von denen zwei für die folgende Arbeit von Interesse sind:

nämlich Rohdichte und Raumdichte.

$$\text{- Die Rohdichte: } r_o = \frac{G_o}{V} \quad (\text{g/cm}^3),$$

die die Dichte des Holzes im atro-Zustand zeigt und

$$\text{- Die Raumdichte: } R = \frac{G_o}{V} \quad (\text{kg/fm}),$$

die eine theoretische Größe darstellt und die vor allem für forstliche Überlegungen von Bedeutung ist; sie verbindet die forstüblichen Meßgrößen mit dem Frischvolumen und der industriell interessierenden Meßgröße, dem atro-Gewicht (DIETZ 1966).

Die Roh- bzw. Raumdichte ist für eine Holzart kein absolut feststehender Wert. Genetische Herkunft, Alter des Baumes und Zeitpunkt der Anlage des jeweiligen Zellverbandes als Folge innerer, vom einzelnen Individuum abhängiger Faktoren, sowie Klima, Bonität, Düngung, Standort und Baumklasse als äußere Bestimmungsgründe führen zu einer stark variierenden Dichte. Daneben ändert sich die Dichte in Abhängigkeit von der Baumhöhe und Art des Baumteils. Dies sind neben den oben angeführten Tatbeständen die Gründe, daß im Rahmen dieser Untersuchung die Dichte der Biomassebestandteile aufgenommen wurde.

Neben der Dichte spielt die Holzfeuchtigkeit eine besonders wichtige Rolle, von ihr hängen Festigkeitseigenschaften, Bearbeitbarkeit, der Heizwert sowie die Ausbeute an Rohmaterial zsw. ab. Ferner wird sich diese auf die Trocknung, die Zerspanung und die Verformung des Rohmaterials auswirken. Bei der Herstellung von Holzspanplatten besteht u.a. die Notwendigkeit, die Holzspäne auf eine bestimmte Feuchtigkeit einzustellen. Einerseits ist für die Zerspanung eine höhere Holzfeuchte wünschenswert, da feuchteres Holz eine höhere Ausbeute an glatte-

schnittenen Spänen ergibt, die auch hinsichtlich der Spandicke eine geringere Streubreite aufweisen als bei trockenerem Holz, andererseits ist bei sehr hoher Eingangsfeuchte der Späne die Trocknung schwierig (DEPPE/ERNST 1964 und 1977). Schließlich ist ein weiterer wirtschaftlicher Gesichtspunkt zu erwähnen. Transport- und Lagerkosten, wesentliche Merkmale des Gewichtsverkaufs, der gerade für das Massensortiment "Biomasse" die geeignetste Form zwischen beiden Marktpartnern (Industrie, Forstbetrieb) ist, sind neben der Dichte vor allem vom Feuchtigkeitsgehalt abhängig.

Die Feuchtigkeit von Holz ist nach DIN 52183 definiert als Unterschied des Gewichts der feuchten (G_u) und der getrockneten (G_o) Probe bezogen auf das Gewicht der getrockneten Probe:

$$u \text{ oder } F_o = \frac{G_u - G_o}{G_o} \times 100 (\%)$$

Wird das Gewicht der Darrprobe auf das Gewicht der feuchten Probe bezogen, so ergibt sich eine zweite Meßgröße, genannt Trockengehalt, d.h. der Anteil der Trockensubstanz am Gesamtgewicht:

$$T = \frac{G_o}{G} \times 100 (\%)$$

Der Komplementärwert von T zu 100 ist der Wassergehalt (x oder F_u). In der Holztechnologie ist u (F_o) eine unveränderlich allgemein übliche Meßgröße, da es auf die unveränderliche Größe (G_o) bezogen ist. Dem gegenüber sind T = Trockengehalt, bzw. Wassergehalt (F_u oder x), die auf variable Größe (G_u) bezogen werden, veränderliche Größen. Andererseits sind sie aber ein direkter Ausdruck für den Gehalt an Trockensubstanz. Daher werden sie in der Holzindustrie und auch in der Feuertechnik verwendet.

Wie auch bei der Dichte variiert die Feuchtigkeit in Abhängigkeit von den bereits oben angesprochenen Faktoren, so daß auf Literatur-Werte

nicht zurückgegriffen werden kann. Da in der hiesigen Arbeit zum einen Ausbeute, zum anderen der Feststoffgehalt interessieren, gelten Trocken- bzw. Wassergehalt als geeignete Meßwerte.

2.2.3. Ermittlung statistischer Grundlagen

Zur experimentellen Ermittlung der Biomasse eines Bestandes können nur baumweise vorgenommene Stichprobenverfahren angewendet werden, da die Analyse der Biomasse eines ganzen Bestandes aus Gründen des Arbeitsaufwandes kaum in Betracht kommt. Auf dieser Basis kann anhand der relativ schnell bestimmbar Stammzahl durch eine entsprechende Hochrechnung die Biomasse des Bestandes erfaßt werden. OVERTON, FORREST und ARMSTRONG (1967) entwickelten in 8 m hohen Beständen von *Pinus radiata* D. Don ein geeignetes Schätzverfahren. Es erlaubt über die für eine Anzahl von Bäumen ermittelte Biomasse, deren Bruthöhendurchmesser (BHD) dem Durchmesser des Grundflächenmittelstammes entspricht, die Biomasse eines Waldbestandes zu bestimmen. OVERTON und Mitarbeiter konnten nachweisen, daß bei gewissen Voraussetzungen ein linearer Zusammenhang zwischen der Stammgrundfläche in Bruthöhe und dem Baumgewicht besteht. Ein Vergleich dieses Schätzverfahrens mit den Ergebnissen einer überprüfenden Vollaufnahme erbrachte, daß bei sorgfältiger grundflächenorientierter Mittelstammauswahl eine Hochrechnung über die Stammzahl aufgrund der Meßergebnisse an 5 Probestämmen bereits zu recht genauen Schätzergebnissen führt, die durch Einbeziehung weiterer Probestämme nicht entscheidend verbessert werden können. Zur Erfassung der Biomasse von Beständen ist dieses Verfahren bisher von verschiedenen Autoren, vor allem im Rahmen der Grundlagenforschung zur Biomasseproduktion, angewandt worden (DROSTE HOLSHOFF 1969, WITTICH 1958, SCHAFER 1977 usw.).

Neben der Bestimmung der Gesamtbiomasse wurde in dieser Arbeit weiter das Ziel verfolgt, neben der Ermittlung der Gesamtbiomassenproduktion auch orientierende Daten über bestimmte Biomassenbestandteile und ihre Verteilung im BHD-Bereich des Bestandes zu erlangen, um u.a. die Einflüsse bestimmter Holzernteverfahren prüfen zu können. Um für solche

Teilkollektive verlässliche Angaben machen zu können, war es notwendig, die Anzahl der Probebäume zu erhöhen. Zur Festlegung der statistischen Absicherung der benötigten Anzahl von Probebäumen wurde ein Vorversuch unternommen.

Da die direkte Erfassung der Biomasse recht umständlich, die Ermittlung der Kreisfläche dagegen einfacher ist und zwischen beiden Größen ein linearer Zusammenhang besteht (vgl. OVERTON und Mitarbeiter), erfolgte die statistische Prüfung anhand der Kreisfläche, da es ferner sich bei den 4 ausgewählten Beständen um annähernd gleichaltrige junge Reinbestände handelte und die sonstigen Gegebenheiten innerhalb der Fläche kaum streuten, konnte weitgehende Homogenität als Voraussetzung einer repräsentativen Stichprobennahme über Teilflächen angenommen werden. Davon ausgehend wurden je Bestand eine Probefläche mit 0,05 ha zufällig ausgewählt, im Gelände markiert und alle Stämme in 1,30 m Höhe (Brusthöhe) nach 1 cm-Durchmesserstufen gekluppt. Die anhand der Kluppliste errechneten Kreisflächen, Streuungen sowie die Variationskoeffizienten der mittleren Stichprobenkreisfläche werden in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 12: Daten der Probefläche zur Biomassebestimmung

Bestand	n	$\bar{x}/qm$	s	C_V %
I	539	0,000673	0,000595	88,41
II	452	0,001835	0,001360	74,11
III	265	0,005202	0,002933	56,38
IV	196	0,0022892	0,002493	86,11

Zur Ermittlung des notwendigen Probeumfanges wurde folgende auf SCHUMACHER-CHAPMAN zurückgehende Formel angewandt:

$$s_{\bar{y}} = \frac{t \cdot C_V}{\sqrt{n}},$$

wobei der Tafelwert für $t = 1,97$ betrug.

Auf dieser Basis wurden zunächst für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5% und einen Repräsentationsfehler von 10%, der für Ertragskundliche Versuche als üblich und tolerierbar angesehen werden kann, die notwendigen Probenumfänge ermittelt. Es zeigte sich, daß die entsprechende Baumzahl für die Bestände I - IV 300, 212, 123 und 288 Bäume betragen hätten. Dieser zur Einhaltung der oben genannten Genauigkeitsanforderung notwendige Probeumfang hätte den Rahmen der vorliegenden Arbeit allerdings gesprengt. Da dem Versuch primär Modellcharakter zukommen sollte und die Sicherheit der zahlenmäßigen Ergebnisse erst in zweiter Linie Zielsetzung ist, erschien es vertretbar, den Versuchsumfang mit der Folge eines größeren Repräsentationsfehlers herabzusetzen, um u.a. die Untersuchung überhaupt technisch durchführen zu können. Je nach Homogenität des Bestandes wurde der Probenumfang - wie Tab. 13 zeigt - auf das technisch bewältigbare Maß eingeschränkt, was die in Tab. 13 ausgewiesenen Fehlerprozente zur Folge hat.

Tab. 13: Probenumfang und Repräsentationsfehler

Bestand	n (Probeumfang)	$s_{\bar{y}}$ (Fehlerprozent)
I	48	25,1
II	54	19,9
III	65	13,8
IV	72	20,0

Das so erreichte Ergebnis stellt zwangsläufig ein Kompromiß zwischen vertretbarem Aufwand und erwünschter Informationsgenauigkeit dar. Bei einer eventuellen Übertragung des Modells auf Verhältnisse anderer Regionen bzw. vor einer praktischen Anwendung sollte deshalb versucht werden, durch Anhebung des Probenumfangs die Fehlergrenze auf maximal 10% zu begrenzen.

Weiterhin wurde auf der Basis der Probeflächedaten der Bestandesvorrat (Baumholz) ermittelt. Zu diesem Zweck wurden für jede BHD-Stufe der Probeflächen Baumhöhen gemessen und danach eine Bestandeshöhenkurve als Funktion des BHD konstruiert. Die Massenberechnung erfolgte nach dem Grundflächenverfahren für 1 cm-Durchmesserstufen, wobei die Formhöhen für die einzelnen Stufen anhand der aus der Kurve abgelesenen Höhe der PHILIPP'schen Tafel ¹⁾ entnommen wurden. Es muß darauf hingewiesen werden, daß im unteren Höhenbereich zwischen 1 und 5 cm die Formhöhen extrapoliert werden mußten, da diese Stufen nicht mit Probebäumen belegt waren. Weiterhin wurde auf Empfehlung von Professor Dr. PRODAN für die Baumart Robinie die Formhöhentarife für Buche benutzt, da die PHILIPP'sche Tafel keine Werte für Robinie aufweisen.

Die Bestandesbaumholzmasse wurde damit als Ergebnis der stufenweisen Volumensberechnung vorgenommen und auf die Gesamtfläche der Versuchsbestände bezogen.

2.2.4. Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Versuchsbestände

2.2.4.1. Untersuchungsgebiet

Die untersuchten Bestände wurden im Bereich des Forstamts Breisach ausgewählt. Das Oberflächenrelief dieses Gebietes ist nahezu eben und liegt bei ca. 200 m über NN. Das Klima dieser Region nimmt unter deutschen Verhältnissen eine Sonderstellung ein; mit einer Jahresmitteltemperatur von 10° C gehört es zu den wärmsten in Deutschland. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt im langjährigen Mittel unter 650 mm. Der überwiegende Anteil des Niederschlags fällt in Form von Gewitterregen während der Vegetationsperiode. Trotz der rheinnahen Lage ist die Grundwasserversorgung dieser Bestände schlecht, da infolge der Tulla'schen Rheinkorrektur eine Absenkung des Grundwasserspiegels um mehrere

1) PHILIPP, K.: *Hilfstabellen für Forst Taxatoren, Karlsruhe 1931*

Meter stattgefunden hat, die zu einer Versteppung des Gebietes führte.

Die klimatischen Verhältnisse entsprechen damit denen mancher Gebiete im Iran. Hierdurch ist eine wesentliche Voraussetzung dafür gegeben, die Untersuchungsergebnisse auch auf iranische Verhältnisse zu übertragen oder doch zumindest als Anhaltspunkte heranzuziehen. Ein weiterer Gesichtspunkt für die Auswahl von Versuchsbeständen gerade in dieser Region war durch das Vorkommen der Baumart Schwarzkiefer und Robinie gegeben, die sich aus den vorher erwähnten Gründen für die Untersuchung anboten.

2.2.4.2. Versuchsbestände

Die Untersuchungen wurden in den nach der Rheinabsenkung entstandenen Trockenwäldungen im Hartheimer Gemeindewald und im staatlichen Rheinvorland des Forstbezirks Breisach durchgeführt. Dieses ehemalige Überschwemmungsgebiet des Rheins gehört heute zum Trockengebiet Oberrhein. Im Interesse einer vielfältigen Aussage bezüglich der Biomasseproduktion in den ersten Altersklassen erschien es zweckmäßig, den Umfang der Versuche auf Bestände verschiedenen Alters auszudehnen. So wurden folgende vier Bestände ausgewählt:

I. Bestand

Dist. I, Abt. 2, Unterfläche 2; 14jähriger Schwarzkiefer-Bestand, der nach Vollumbruch begründet worden ist. Flächengröße 5,5 ha, vollbestockt (flächenweise etwas zurückbleibende Bäume), bisher undurchforstet,

II. Bestand

Dist. I, Abt. 12, Unterfläche F_1 ; 16jähriger Schwarzkieferbestand, nach Vollumbruch gepflanzt, Flächengröße 0,7 ha, mit geschlossener Bestockung, jedoch durch Läuterung Entnahme jeder dritten Reihe im Jahr 1972,

III. Bestand

Dist. IV, Abt. 2, Unterfläche 2; 22jähriger Schwarzkieferbestand, Flächengröße 1,9 ha, normale Bestockung, durch Läuterung im Jahr 1972 Selektiventnahme.

IV. Bestand

Dist. IV, Abt. 2, Unterfläche F_2 ; $\frac{12 - 31}{20}$ -jähriger Robinienbestand, Flächengröße 0,6 ha, vorwiegend aus Stockausschlägen hervorgegangen, lichte Bestockung durch wahllose Entnahme von Einzelstämmen (siehe die beiliegenden Bilder 1-5 auf Seite 33 und 34).

Die ausgesuchten Bestände stocken auf den Standortseinheiten "Sandschlick" und "Lockersand" wobei die Standortseinheit Sandschlick, auf der der III. Bestand stockt, wie folgt charakterisiert ist: braune und graue (Auen-) Paraendsina aus tiefgründigem, lehmigen Sand über Lockersand oder Kies mit mäßig frischen bis mäßig trockenen Böden.

Die Standortseinheit Lockersand, auf der der I., II. und IV. Bestand stocken, ist in der Standortskartierung von 1967 wie folgt beschrieben: graue bis braune (Auen-) Pararendsina aus überwiegend oberflächlich vielfach schwach humosen lehmigem Sand (lediglich der I. Bestand wächst auf oberflächlich angereichertem Kies), ansonsten tiefgründigem, lockerem anlehmigen und reinem Sand bis Grobsand über Kiesen und groben Schottern; mit mäßig trockenen bis trockenen Böden.

Weitere Angaben über die Bestände, die anhand des Vorversuches (vgl. 2.2.3.) ermittelt wurden, sind aus folgender Tabelle zu entnehmen (vgl. Tab. 14).



Bild 1

22-jähriger Schwarzkiefernbestand.
Forstamt Breisach, staatl. Rhein-
vorland



Bild 2

16-jähriger Schwarzkiefernbestand.
Forstamt Breisach, Hartheimer Ge-
meindewald



Bild 3

14-jähriger Schwarzkie-
fernbestand. Forstamt
Breisach, Hartheimer Ge-
meindewald

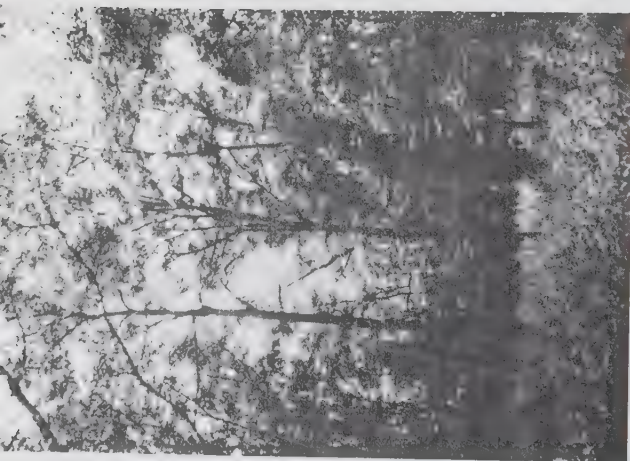


Bild 4

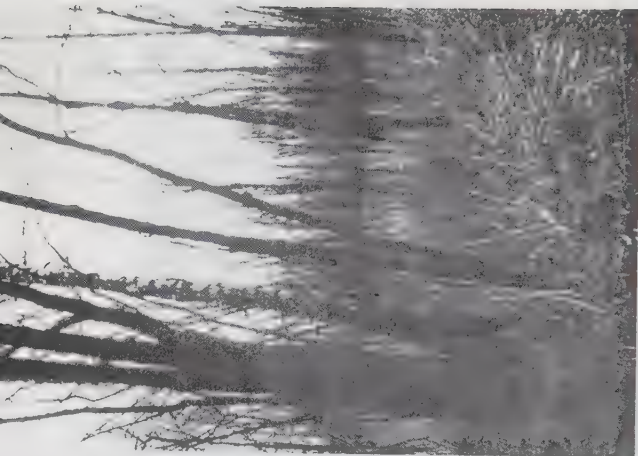


Bild 5

12-31 -jähriger Robinienbestand. Forstamt Breisach, Hartheimer Gemeindewald
20 (Nr. 4: Sommeraufnahme, Nr. 5: Winteraufnahme)

Tab. 14: Bestandesdaten der Probebestände I - IV

Bestand	Stammzahl in/ha	mittl. BHD cm	mittl. Höhe m	Vorrat f_{m_B} /ha
SKie 14 J. (I)	10780	2,87	2,4	26,3
SKie 16 J. (II)	9020	4,83	3,7	68,3
SKie 22 J. (III)	5260	8,06	9,4	175,6
Ro 12-31 J. (IV)	3920	6,09	7,1	65,5

2.2.5. Versuchsdurchführung

Auf der Basis der in Abschnitt 2.2. ausführlich dargelegten Zielsetzung der Biomasseuntersuchungen, die hier in den drei Punkten a) Zusammensetzung der Biomasse, b) Anhaltspunkte für die Flächenproduktivität und c) die mögliche Rohstoffausbeute zusammengefaßt werden, wurden im Juni/Juli 1977 in den vier in Abschnitt 2.2.4.2. näher bestimmten Beständen folgende Erhebungen vorgenommen:

- Auswahl der repräsentativen Probebäume
- Aufteilung der Bäume in ihre Biomassebestandteile
- Probenahme von den einzelnen Biomassebestandteilen
- Laboruntersuchungen an den Biomassenproben.

2.2.5.1. Auswahl der Probebäume und Zerlegung in ihre Biomassebestandteile

Bevor die praktische Biomassebestimmung beginnen konnte, mußte zunächst die im Vorversuch festgelegte Gesamtzahl von Probestämmen je Bestand (vgl. Abschnitt 2.2.3.) gleichmäßig auf die einzelnen BHD-Stufen verteilt werden. Dabei ergab sich, wie in Tab. 15 dargestellt, daß in den einzelnen Probeflächen 5-7 Bäume je BHD-Stufe zu entnehmen waren.

Tab. 15: Verteilung der Gesamtzahl an Probeebäumen auf die einzelnen BHD-Stufen

Bestand Nr.	Anzahl	
	je BHD-Stufe	Gesamt
I	7	49
II	6	54
III	5	65
IV	6	72

Jeder Probebaum wurde zufällig ausgewählt, gefällt und sein Stockdurchmesser und die Gesamtlänge aufgenommen. Zusätzlich wurden in den Kieferbeständen die Wurzelstöcke der jeweiligen mittleren BHD-Stufe ausgegraben. Die Beschränkung auf eine BHD-Stufe war durch den zeitlichen Rahmen der Untersuchung bedingt und auch sinnvoll, da es vertretbar erschien, über die unterirdische Biomasse der Kreisflächenmittelstämme die Biomasse der gesamten Bestände zu berechnen. Bei dem Robinienbestand, der einen Stockausschlag- bzw. Niederwaldbetrieb darstellt, unterblieb die Bestimmung der unterirdischen Biomasse, da diese Wirtschaftsform die Nutzung der Wurzeln ausschließt.

Anschließend erfolgte die Aufteilung der einzelnen Probeebäume in die Biomassebestandteile, wie sie in Abschnitt 2.2.1. dargestellt wurden:

- 1. Sortiment: Derbholz
- 2. Sortiment: Grobreisig
- 3. Sortiment: Feinreisig
- 4. Sortiment: Wurzel (Stockholz)

Das Gewicht jedes Sortiments eines Probebaumes wurde sofort nach der Fällung mit Hilfe einer Balkenwaage (Genauigkeit 0,01 kg) ermittelt, woraus sich das Gewicht der Gesamtbiomasse und die Verteilung des Frischgewichts auf die verschiedenen Baumteile ermitteln ließ.

2.2.5.2. Laboruntersuchungen an den verschiedenen Biomassebestandteilen

Nach der Ermittlung der Gesamtbiomasse wurden zur Bestimmung der Feuchtigkeit, des Rindenanteils und der Holzdichte je Bestand, BHD-Stufe und Probebaum folgende Proben entnommen und luftdicht verpackt:

- aus den Sortimenten 1 und 2 (Derbholz, Grobreisig) sägte man je drei 20 mm dicke Stammscheiben, und zwar aus dem unteren, mittleren und oberen Teil, heraus.
- Von dem 3. Sortiment (Feinreisig einschließlich Laub bzw. Nadeln) entnahm man 200 - 300 Gramm.
- Bei jedem ausgegrabenen Wurzelstock wurde aus der Mitte ein 10 cm langes Stück herausgesägt.

Während man bei den Proben des 1. und 2. Sortiments alle gewünschten Daten erhoben hat, dienten die Proben des 3. und 4. Sortiments lediglich zur Feuchtigkeitsbestimmung. Die Untersuchung der Stammscheiben ging wie folgt vor sich:

Einwaage der frischen Stammscheiben, Entrindung, Gewichts- und Volumenbestimmung der Stammscheibe ohne Rinde, Ermittlung der Feuchtigkeit von Holz und Rinde, Volumenbestimmung des trockenen Holzes.

Für die Gewichtsbestimmung stand eine elektrische Schnellwaage (Sartorius Kilomat 1000) mit einer Genauigkeit von 0,1 Gramm und einer automatischen Tariereinrichtung zur Verfügung.

Die Volumenermittlung erfolgte nach dem hydrostatischen Verfahren, wobei das Gewicht des verdrängten Wassers dem Volumen des Körpers entspricht (vgl. DIETZ, 1966). Bei der hierzu benutzten Waage handelte es sich um eine Bizerba-Tafelwaage mit einer Meßgenauigkeit von 1 Gramm. Um die Feuchtigkeitsaufnahme der darrtrockenen Proben beim Eintauchen in Wasser zu verhindern, wurde eine zusätzliche Behandlung der Proben (durch Auftragen von Decahydronaphthalin) vorgenommen.

Zur Feuchtigkeitsbestimmung nach der Darrmethode trocknete man alle Proben gemäß DIN 52183 im Trockenschrank bei $103 \pm 2^\circ \text{C}$ bis zur Gewichtskonstanz.

Danach ergaben sich im einzelnen folgende physikalische Größen:

- $G_U \text{ m.R.}$ = Gewicht des waldfrischen Holzes mit Rinde
- $G_U \text{ o.R.}$ = Gewicht des waldfrischen Holzes ohne Rinde
- $V_U \text{ o.R.}$ = Volumen des waldfrischen Holzes ohne Rinde
- $G_O \text{ o.R.}$ = atro-Gewicht des Holzes ohne Rinde
- RG_O = atro-Gewicht der Rinde
- $V_O \text{ o.R.}$ = Volumen des darrtrockenen Holzes ohne Rinde

Aus diesen Werten ließen sich folgende weiteren Größen ableiten:

- $G_O \text{ m.R.}$ = atro-Gewicht des Holzes mit Rinde ($G_O \text{ o.R.} + RG_O$)
- G_{UR} = Gewicht der waldfrischen Rinde ($G_U \text{ m.R.} - G_U \text{ o.R.}$)
- R_{OH} = Darrdichte des Holzes
- R_h = Raumdichte des Holzes
- X_h = Feuchtigkeit des Holzes
- X_R = Feuchtigkeit der Rinde
- T_h = Trockengehalt des Holzes
- T_R = Trockengehalt der Rinde

2.2.5.3. Aufarbeitung der Meßdaten

Nachdem das Gewicht der einzelnen Biomassebestandteile der Probebäume erhoben war, wurden zunächst die Mittelwerte je BHD-Stufe und Sortiment gebildet. Daraus ließ sich die durchschnittliche oberirdische Biomasse für die einzelnen BHD-Stufen und gemäß dem prozentualen Anteil der BHD-Stufen auf der jeweiligen Bestandesfläche für den Bestandesmittelstamm herleiten.

Zur Berechnung der unterirdischen Biomasse wurde gemäß einem empirisch abgesicherten Vorgehen ¹⁾ der statistische Zusammenhang zwischen dem Quadrat des BHD und Gewicht der oberirdischen Biomasse ermittelt. Danach ergaben sich folgende Formeln:

Für den Bestand I:		100 R ²
	$G' = 4,01559 + 0,27876 d_{1,3}^2$	79,8

Für den Bestand II:		
	$G' = 0,93373 + 0,41933 d_{1,3}^2$	98,7

Für den Bestand III:		
	$G' = 0,88071 + 0,58582 d_{1,3}^2$	99,3

Danach wurde anhand des experimentell gefundenen Wurzelgewichts des Bestandeskreisflächenmittelstamms das Verhältnis zwischen der unterirdischen und der oberirdischen Biomasse hergeleitet. Unter Berücksichtigung dieser Relation ergab sich folgende Beziehung für die gesamte Biomasse (G):

Für den Bestand I:	
	$G = 4,46425 + 0,30991 d_{1,3}^2$

Für den Bestand II:	
	$G = 1,05351 + 0,47312 d_{1,3}^2$

Für den Bestand III:	
	$G = 1,00895 + 0,67112 d_{1,3}^2$

1) Methode der kleinsten Quadrate

Dies am Kreisflächenmittelstamm ermittelte Verhältnis wurde anschließend auf die anderen BHD-Stufen erweitert und so das Gewicht der unterirdischen Biomasse für die jeweiligen Stufen hergeleitet. Die gesamte Biomasseproduktion ergab sich durch die Multiplikation des Gewichts der einzelnen Mittelstämme mit der Stammzahl der jeweiligen Bestände je Hektar. Die einzelnen Ergebnisse werden in Abschnitt 2.2.6.4.ff. detailliert dargestellt.

Während die Ermittlung des Rindenanteils bei den ersten beiden Sortimenten (Derbholz, Grobreisig) unproblematisch war (s. Abschnitt 2.2.5.1. und 2.2.5.2.), bereitete die Erfassung des Rinden- und Nadel- bzw. Laubanteils bei Feinreisig Schwierigkeiten: Da die vollständige Trennung zwischen Holz und Rinde bei diesem Sortiment nicht möglich war, wurden die beim Grobreisig erzielten Ergebnisse nach folgender Formel abgeleitet:

$$P_x = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{d_1 - d_2} + P_s,$$

dabei bedeutet:

- | | |
|---------------------------|---|
| P_x | = prozentualer Rindenanteil bei einem cm ϕ ,
der als mittlerer Durchmesser für das Fein-
reisig angesehen wird |
| $P_{\max}$ und $P_{\min}$ | = prozentualer Rindenanteil am dicken und
dünnen Ende der Schaft- bzw. Aststücke |
| P_s | = prozentualer Rindenanteil am dünnen Ende der
Schaft bzw. Aststücke |
| d_1 und d_2 | = jeweiliger Durchmesser des dicken bzw. dünnen
Endes der Schaft- bzw. Einzelstücke |

Da die detaillierte Erfassung des Nadel- bzw. Laubanteils sehr aufwendig gewesen wäre und zum eigentlichen Ziel dieser Studie nur wenig beigetragen hätte, wurde auf eigene Erhebungen verzichtet. Entsprechende Werte für den Nadelanteil wurden von SCHÄFER (1977) und WERNIUS (1975) übernommen, die den Nadelanteil an der oberirdischen Biomasse in einem 17-jährigen Schwarzkiefernbestand mit 22,4% und in einem Kieferläuterungsbestand mit einem mittleren BHD von 10 cm mit 9,7% angegeben haben (s. Sbschnitt 2.1.). Die von SCHÄFER gewonnenen Werte wurden in der vorliegenden Arbeit den Beständen I und II, die von WERNIUS dem Bestand III zugrundegelegt.

Zur Ermittlung des Laubanteils im Robinienbestand wurden Angaben über die Eiche, die der Robinie im Bezug auf den Habitus nahe stehen dürfte, zur Hilfe genommen. Durch Interpolation einer graphischen Darstellung von REMEZOV und BYKOVA (zitiert nach SUKACHEV und DYLLIS, 1964) beträgt bei einer 20jährigen Eiche der Blattanteil ca. 2,4% der oberirdischen Biomasse. Detaillierte Ergebnisse sind im Abschnitt 2.2.6.4.ff. dargestellt.

2.2.6. Versuchsergebnisse

2.2.6.1. Die Dichten des Holzes

Die Mittelwerte und Varianzen der Raum- und Darrdichte für die beiden Holzarten in den verschiedenen Beständen sind in Tab. 16 aufgeführt. Die Mittelwerte der Rohdichte für die Schwarzkiefer mit $r_0 = 0,45 - 0,51 \text{ g/cm}^3$ und dem Gesamtmittel für alle drei Bestände von $r_0 = 0,47 \text{ g/cm}^3$ liegen im Rahmen von $0,33 - 0,66 \text{ g/cm}^3$, der in der Literatur für die Gattung Pinus angegeben ist. Für die Schwarzkiefer fanden JANKA (1915), WIESNER (1928), VENET (1963) und KNUCHEL (1944) jeweils folgende Rohdichte-Werte: 0,57; 0,67; 0,55; 0,67 g/cm^3 . Demgegenüber liegt der erhaltene Mittelwert von $r_0 = 0,47 \text{ g/cm}^3$ deutlich unter den genannten Werten. Dies dürfte auf die Struktur des hier untersuchten

Holzes zurückzuführen sein, das TRENDELENBURG (1955) als kronenbürtiges Holz beschrieb, geprägt durch einen geringen Spätholzanteil. Dementsprechend nennt SCHALCK (1967) für das Jugendholz der Schwarzkiefer einen Rohdichte-Bereich von $r_0 = 0,431 - 0,524 \text{ g/cm}^3$. Innerhalb dieses Rahmens liegen auch die hier ermittelten Rohdichte-Werte aller drei Schwarzkieferbestände.

Tab. 16: Dichten des Robinien- und Schwarzkiefernholzes in den Probeständen

Holzart / Bestand	Skie								Ro	
	I		II		III		Gesamt- Kollektiv		IV	
	$\bar{x}$	$C_V\%$	$\bar{x}$	$C_V\%$	$\bar{x}$	$C_V\%$	$\bar{x}$	$C_V\%$	$\bar{x}$	$C_V\%$
$r_0 \text{ g/cm}^3$	0,51	8,6	0,45	9,1	0,45	7,7	0,47	10,4	0,75	5,7
$R \text{ kg/m}^3$	450,9	9,5	400,5	9,0	387,2	7,0	413,4	11,0	638,7	3,8

Die Raumdichten von $R = 387 - 451 \text{ kg/m}^3$ überschreiten beidseitig den von TRENDELENBURG und MAYER-WEDELIN (1955) für die Kiefer allgemein angegebenen Bereich von $R = 410 - 430 \text{ kg/m}^3$. Das ermittelte Gesamtmittel von $R = 413 \text{ kg/m}^3$ liegt jedoch weit unter dem von SCHALCK (1967) für Schwarzkiefer berechneten Mittelwert von $R = 480 \text{ kg/m}^3$. Auffällig ist, daß Raum- und Rohdichte sich entgegen der Erwartung mit zunehmendem Alter verringern. Ein Grund könnte in den unterschiedlichen standörtlichen Gegebenheiten gesehen werden.

Die für die Robinie ermittelten Dichten von $R = 639 \text{ kg/m}^3$ bzw. $r_0 = 0,75 \text{ g/cm}^3$ finden ihre Entsprechung in der Literatur bei GÜHRE (1961): $R = 638 \text{ kg/cm}^3$ und $r_0 = 0,72 \text{ g/cm}^3$ KOLLMANN (1951): $r_0 = 0,73 \text{ g/cm}^3$.

Um die Unterschiede zwischen den einzelnen Beständen noch deutlicher zu kennzeichnen, wurden die Häufigkeitsverteilungen der Darrdichte ermittelt und in den Abbildungen 2 und 3 graphisch dargestellt. Dabei zeigt sich bei den Kieferbeständen, wie bereits oben erwähnt, daß der erste Bestand wesentlich von den beiden anderen abweicht. Die Erscheinung, daß das jüngere Holz entgegen der Erwartung eine höhere Dichte aufweist, könnte auf ungünstigere Standortverhältnisse und damit auf eine geringe durchschnittliche Jahrringbreite der einzelnen Bäume des Bestandes zurückgeführt werden. Diese Aussage ist jedoch als nicht vollkommen abgesichert anzusehen.

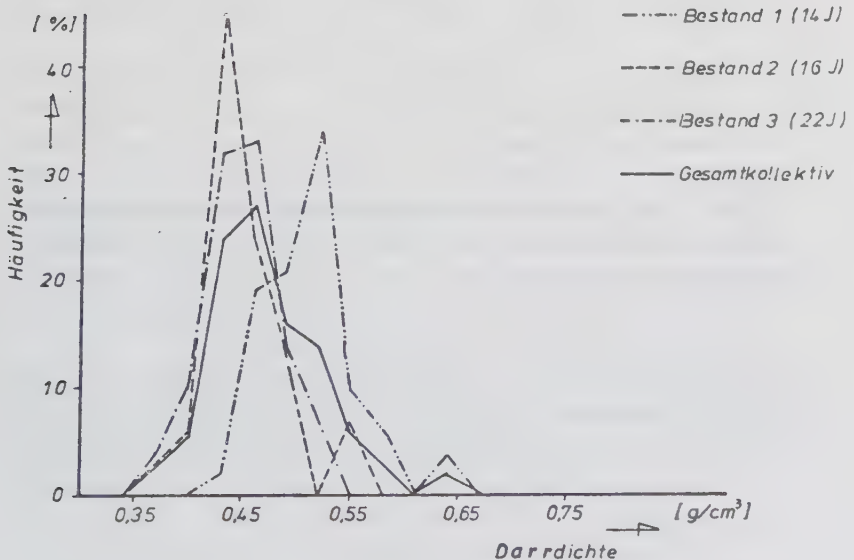


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Darrdichte von Schwarkiefer

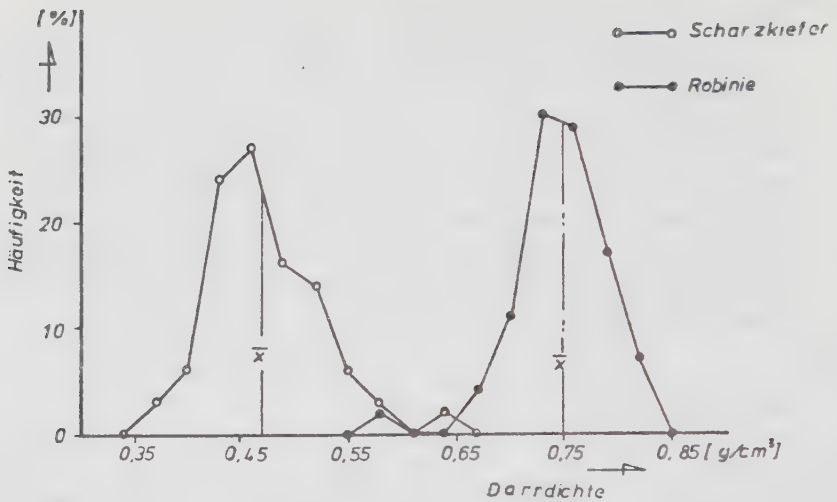


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung und Mittelwerte der Darrdichte der Schwarzkiefer und Robinie

In Tab. 17 sind die Darrdichten des Derbholzes und Grobreisigs aufgeführt, um damit etwaige Unterschiede zwischen den einzelnen Biomasse-sortimenten festzustellen.

Tab. 17 Darrdichte des Derbholzes und Grobreisigs

Sortiment Baumart	1 (> 7 cm ϕ)		2 (7 - 2 cm ϕ)	
	$\bar{x}$ g/cm ³	C_V %	$\bar{x}$ g/cm ³	C_V %
Schwarzkiefer	0,47	8,2	0,46	11,4
Robinie	0,80	6,0	0,74	5,4

Danach ist die Schwarzkiefer als recht homogen bezüglich der Darrdichte in den beiden Sortimenten (Derbholz und Grobäste) anzusehen. Diese Feststellung wird jedoch durch Untersuchungsergebnisse, die POLLER (1978) an 25jährigen Kiefern erarbeitete, relativiert. Bei ihm wiesen die Wurzeln und der stocknahe Stammteil mit $r_0 = 0,44 \text{ g/cm}^3$ eine etwas höhere Rohdichte als das Stammholz auf, während die Darrdichten der Grob- und Feinäste wesentlich über denen der anderen Sortimente lagen. Im einzelnen ermittelte POLLER folgende Mittelwerte:

- Wurzeln $r_0 = 0,43 \text{ g/cm}^3$
- Feinäste $r_0 = 0,59 \text{ g/cm}^3$
- Grobäste $r_0 = 0,52 \text{ g/cm}^3$
- Stammholz $r_0 = 0,39 \text{ g/cm}^3$

Dieser scheinbare Widerspruch dürfte auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein: Zunächst war das in der vorliegenden Untersuchung verwendete Probematerial in Bezug auf das Alter der Bäume und seine morphologische Zusammensetzung inhomogen, entstammte aber andererseits vorwiegend dem Schaftteil der Probebäume. Dagegen erfolgte bei POLLER die Einteilung des Untersuchungsmaterials ausschließlich nach morphologischen Gesichtspunkten. Die hohe Dichte des Astmaterials dürfte auf den entsprechenden Druckholzanteil zurückzuführen sein.

Bei der Robinie ergab sich in der vorliegenden Untersuchung ein signifikanter Unterschied zwischen der Darrdichte des Derbholzes und des Grobreisigs, was auf den Zugholzanteil im Astmaterial zurückgeht.

2.2.6.2. Wasser- bzw. Trockengehalt der Biomassesortimente

Nachdem im vorigen Abschnitt die einzelnen Dichtewerte ermittelt und analysiert worden sind, gilt es sich nun dem Wassergehalt zu widmen, um damit aus verschiedensten verwertungstechnischen Gründen z.B. die

Trockensubstanz je Flächeneinheit bzw. das Feuchtgewicht der Biomasse herleiten zu können. In Tab. 18 ist der durchschnittliche Wassergehalt der einzelnen Biomassesortimente für die beiden Baumarten aus den vier Beständen angegeben. Zusätzlich wurde durch Wichtung der einzelnen Sortimente ein durchschnittlicher Wassergehalt für das gesamte Material pro Bestand ermittelt.

Tab. 18: Feuchtigkeitswerte der Biomasse-Sortimente in Prozent

Baumteile Bestand	> 7cm ϕ		7-2cm ϕ		< 2cm ϕ m. Laub/Nadel		Wurzel		Durchschnitt
	$\bar{x}$	C_v	$\bar{x}$	C_v	$\bar{x}$	C_v	$\bar{x}$	C_v	$\bar{x}$
I	145,8	10,6	142,2	11,8	140,5	15,4	157,1	18,8	142,5
SKie II	140,8	4,7	155,8	15,5	162,0	11,0	146,3	14,5	156,4
III	126,9	10,6	161,5	18,4	150,0	9,0	137,0	12,5	132,9
Ro IV	50,9	12,7	53,8	12,4	98,4	11,3	-		63,0

Danach ergaben sich für die 3 Schwarzkieferbestände Wassergehalte von 132 - 156% und ein Gesamtmittelwert von 144%. Unter der Voraussetzung, daß Kiefernholz im frischen Zustand einen Wassergehalt von 31% aufweist (TRENDELENBURG u.a., 1955), so war das Untersuchungsmaterial, wenn überhaupt, nur schwach verkernt. Lediglich zwischen dem Derbholz des II. und des III. Bestandes ist ein wesentlicher Abfall zu beobachten, der auf eine Verkernung hindeuten könnte. Der durchschnittlich geringere Wassergehalt des Biomassematerials im I. Bestand könnte auf die schon mehrfach erwähnten schlechteren Standortgegebenheiten zurückgeführt werden.

Gegenüber der Schwarzkiefer wies die Robinie einen wesentlich geringeren Wassergehalt auf. Dies beruht auf der Tatsache, daß die Baumart, wie auch visuell festzustellen war, in dem untersuchten Bestand relativ stark verkernt war. Dieses Ergebnis entspricht auch den Beobachtungen von GÜHRE (1952), der bei Robinien eine starke Verkernung und einen Wassergehalt im Kernholz von 39% feststellte.

In Tab. 19 sind das Frischgewicht und der Wassergehalt der beiden Holzarten dargestellt. Ordnet man diese Werte in das von TREDELENBURG (1955) aufgestellte Holzgruppenschema ein, in dem die Holzarten nach ihrem Wassergehalt gereiht sind, so ist die Schwarzkiefer als "sehr nasse" und die Robinie als "feuchte" Holzart zu bezeichnen.

Tab. 19: Gewicht und Wassergehalt des frisch gefällten Holzes mit Rinde (bezogen auf Derbholz bzw. Grobreisig)

Bestand	Frischgewicht (kg/fm)	Raumdichte (kg/fm)	Wassergehalt	
			Gewicht (kg/fm)	Gewichtsanteil u (%)
SKie I	1092	451	641	142
II	1015	400	615	154
III	935	387	548	142
Ro IV	971	639	332	52

Korrespondierend zum Wassergehalt sind in Tab. 20 die Trockengehaltswerte für die einzelnen Biomassesortimente aufgeführt. Zusätzlich wurde für alle Schwarzkieferbestände ein durchschnittlicher Trockengehaltswert von 41% errechnet. Wie die Varianten zeigen, sind die Streuungen der einzelnen Trockengehaltswerte relativ gering.

Tab. 20: Trockengehalt nach Baumteilen m.R. in Prozent

Bestand	Baumteile	> 7cm ϕ		7-2cm ϕ		< 2cm mit Laub/Nadel		Wurzel (Stockholz)		Durchschnitt
		T	C _V	T	C _V	T	C _V	T	C _V	T
SKie	I	40,8	6,4	41,6	6,9	41,9	9,1	39,3	9,1	41,6
	II	41,7	2,8	39,9	9,4	38,3	6,8	40,9	8,6	39,5
	III	44,3	5,6	39,2	11,2	40,1	5,4	42,4	7,0	41,7
Ro	IV	66,4	3,9	65,2	4,2	50,6	5,7	-	-	62,3

2.2.6.3. Rindenanteil

Die Ermittlung des Rindenanteils erfolgte in % des Frisch- und Trockengewichts, wobei die Nadel- bzw. Laubmasse unberücksichtigt blieb. Die Ergebnisse sind in Tab. 21 aufgeführt. Dabei zeigte sich, daß der ermittelte Rindenanteil - bezogen auf das Frischgewicht - wesentlich über dem an der Trockensubstanz ermittelten lag.

Tab. 21: Rindenanteil der Biomasse-Sortimente in Prozent

Bestand	Baumteile	> 7cm ϕ				7-2cm ϕ				< 2cm ϕ o. Laub/Nadel				Durchschnitt	
		frisch		atro		frisch		atro		frisch		atro		frisch	atro
		$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	C _V	$\bar{x}$	$\bar{x}$
SKie	I	28,3	14,7	28,1	11,4	39,9	9,8	35,9	10,9	44,2	6,5	42,1	7,2	42,8	40,7
	II	20,8	15,2	18,7	12,5	22,9	11,1	21,4	15,6	25,8	11,4	24,5	12,9	23,7	22,1
	III	14,2	15,5	14,0	25,2	16,5	13,4	14,1	17,0	20,5	10,0	18,7	5,7	15,8	14,6
Ro	IV	22,4	10,1	20,3	15,9	30,8	14,2	28,7	21,3	14,5	9,1	13,1	12,5	27,9	25,6

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß die Rinde gegenüber dem Holz nur einen unwesentlich höheren Wassergehalt aufwies. Aus diesem Grunde wird im folgenden allein der "atro-Rindenanteil" betrachtet:

Bei den Schwarzkieferbeständen betrug der Rindenanteil in der ersten Probefläche nicht weniger als 40,7% und fällt dann bei den Flächen II und III auf 22,1 bzw. 14,6% ab, was gegenüber sonstigen Literaturangaben immer noch sehr hoch ist, aber mit der schwachen Dimension des Probematerials begründet werden kann. Gleiches trifft für die Robinienfläche zu, für die ein Rindenanteil von 25,6% ermittelt wurde; in diesem Bestand aus 10-30jährigen Bäumen hatte die jüngste Altersklasse das Übergewicht.

Betrachtet man den Rindenanteil der einzelnen Biomassebestandteile aus den vier Beständen, wie in Abb. 4 dargestellt, so zeigt sich wie erwartet, daß das Rindenprozent beginnend beim Feinreisig über das Grobreisig bis zum Derbholz abnimmt. Diese Abnahme ist bei jüngeren Beständen stärker als bei älteren. Ferner ist zu beobachten, daß die einzelnen Biomassesortimente in den jüngeren Beständen einen höheren Rindenanteil aufweisen als in den älteren.

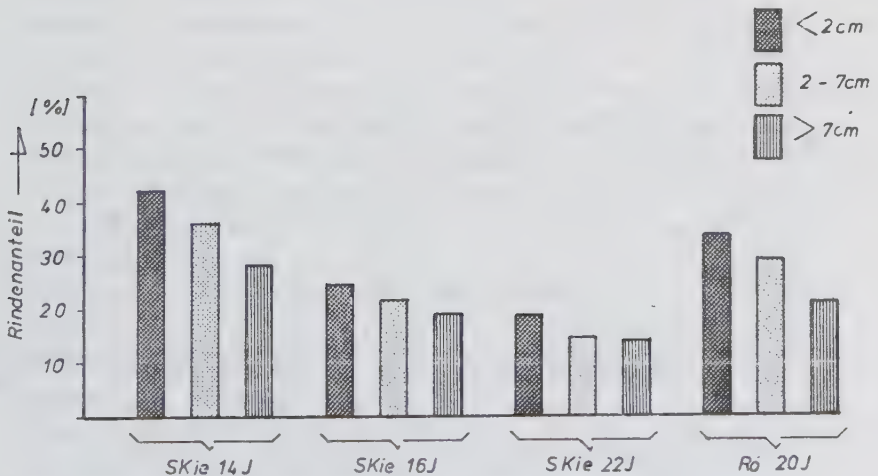


Abb. 4: Darstellung des Rindenprozents nach Baumteilen und Beständen

Betrachtet man das Rindenprozent in Abhängigkeit von BHD und Alter (Abb. 5), läßt sich feststellen, daß in den Kiefernbeständen bei gleichem BHD der Rindenanteil mit zunehmendem Alter abnimmt. Gleichzeitig verringert er sich mit zunehmendem BHD. In jüngeren Beständen ist diese Erscheinung ausgeprägter als in älteren.

Besonders stark verringert sich der Rindenanteil in Abhängigkeit vom BHD im Robinienbestand, nämlich von 35% bei BHD 1 cm auf 12% bei BHD 13 cm.

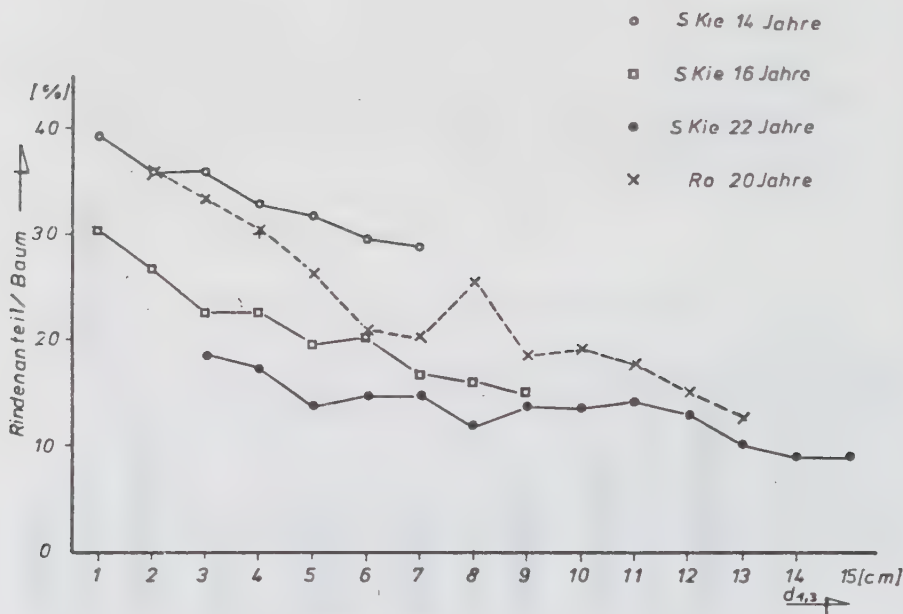


Abb. 5: Rindenprozent als Funktion von BHD ($d_{1.3}$) und Alter

2.2.6.4. Die Zusammensetzung der Biomasse

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die Beschaffenheit der einzelnen Biomassebestandteile näher erörtert worden ist, soll im folgenden die anteilmäßige Zusammensetzung der Biomasse der einzelnen Probestämme aus den Versuchsbeständen näher erörtert werden. Dazu ist zunächst in Tab. 22 das durchschnittliche Frischgewicht der Probestämme jeweils einer BHD-Stufe wiedergegeben. Ferner wird für jede Versuchsfäche die Biomasse des Bestandesmittelstamms aufgeführt. Multipliziert man diese mit der für den Bestand ausgezählten Stammzahl, so erhält man die gesamte Biomassenproduktion. Zur weiteren Charakterisierung der Biomasse werden zusätzlich der prozentuale Anteil der Probestämme je BHD-Stufe und die durchschnittliche Stammlänge je BHD-Stufe, angegeben. Erwartungsgemäß nimmt die Biomasse insgesamt und in den einzelnen Sortimenten mit ansteigendem BHD in allen vier Beständen zu. Bemerkenswert ist, daß die Biomasseproduktion der Probebäume mit gleichem Durchmesser im unteren BHD-Bereich der drei Schwarzkiefernbestände mit zunehmendem Alter trotz größerer Höhe der Einzelbäume abnimmt. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei in den 16- bzw. 22-jährigen Beständen um Bestandesmitglieder, die bereits stark verdrängt worden sind und deshalb nur noch eine geringe Vitalität aufweisen. Im übrigen nimmt bei gleichem BHD mit zunehmender Höhe der Bäume die Biomasseproduktion zu. Dies wird auch von HAKKILA (1977) bestätigt, der für eine Regressionsgleichung zur Ermittlung der Biomasseproduktion die Baumhöhe verwendet hat. Jedoch soll nach DROSTE zu HÜLSHOFF (1969) die Biomasseproduktion enger mit dem BHD als mit der Höhe verknüpft sein. Es ist möglich, mit Hilfe der vorliegenden Tabelle, wenn BHD und Höhe bekannt sind, das Frischgewicht der Biomasse verschiedener Bäume zu ermitteln.

Ferner verdeutlicht Tab. 22 im Hinblick auf eine der wesentlichen Fragestellungen recht anschaulich, welches Gewicht der Biomasse unterhalb der Derbholzgrenze in den einzelnen Beständen zukommt: Während die Probeflächen I und II fast kein Derbholz aufweisen, und der 22-jährige

Tab. 22: Zusammensetzung der Biomasse nach den Baumbestandteilen

Bestand Nr.	BHD	Länge	Stamm- anteile	Frischgewicht der Biomasse											
				oberirdisch								unterirdisch (Wurzel)		Gesamt- biomasse	
				> 7cm Ø		7-2cm Ø		<2cm Ø+Laub		Total		kg	%	kg	%
				kg	%	kg	%	kg	%	kg	%				
I	1	1,7	19,1					4,29	89,9	4,29	84,9	0,48	10,1	4,8	100
	2	2,3	31,5			0,42	7,4	4,71	82,6	5,13	90,9	0,57	10,0	5,7	"
	3	2,7	24,3			1,39	19,2	5,13	70,8	6,52	89,9	0,73	10,1	7,3	"
	4	3,0	16,7			2,24	23,8	6,24	66,2	8,48	89,9	0,95	10,1	9,4	"
	5	3,2	7,1			3,48	28,5	7,50	61,4	10,98	89,9	1,23	10,1	12,2	"
	6	3,4	1,1			5,32	33,9	8,73	55,7	14,05	89,6	1,63	10,4	15,7	"
	7	4,0	0,2	1,48	7,5	6,14	31,2	10,05	51,1	17,67	89,9	1,98	10,1	19,7	"
	Mst	-	100	-	-	1,16	16,3	5,24	73,6	6,40	89,9	0,72	10,1	7,1	100
II	1	2,7	5,1					1,35	88,2	1,35	88,2	0,18	11,8	1,5	100
	2	3,9	11,1			1,20	40,7	1,41	47,8	2,61	88,5	0,34	11,5	2,9	"
	3	4,6	15,1			2,47	46,5	2,24	42,2	4,71	88,7	0,60	11,3	5,3	"
	4	5,5	18,8			3,85	44,6	3,79	44,0	7,64	88,6	0,98	11,4	8,6	"
	5	6,1	20,6			5,40	42,0	6,02	46,7	11,42	88,7	1,46	11,3	12,9	"
	6	6,3	15,5			7,60	42,0	8,43	46,6	16,03	88,6	2,06	11,4	18,1	"
	7	6,5	9,3	3,92	16,2	8,44	34,8	9,12	37,6	21,48	88,6	2,76	11,4	24,2	"
	8	6,7	3,3	7,83	25,0	9,14	29,2	10,80	34,5	27,77	88,6	3,56	11,4	31,3	"
	9	6,8	1,2	11,30	28,7	10,71	27,2	12,89	32,7	34,90	88,6	4,48	11,4	39,4	"
	Mst	-	100	0,76	6,3	4,74	39,3	5,18	43,0	10,68	88,6	1,37	11,4	12,1	100
III	3	7,6	2,3			2,40	47,7	1,99	39,6	4,39	87,3	0,64	12,7	5,0	100
	4	8,3	4,6			5,35	55,0	3,14	32,3	8,49	87,3	1,24	12,7	9,7	"
	5	8,3	7,2			8,79	53,7	5,58	34,0	14,37	87,7	2,01	12,3	16,4	"
	6	8,9	11,4			9,54	47,2	7,74	38,3	17,28	85,5	2,94	14,5	20,2	"
	7	9,6	19,0	6,29	20,0	10,43	33,1	9,81	31,2	26,53	84,3	4,94	15,7	31,5	"
	8	10,4	19,8	14,33	34,2	11,78	28,1	10,50	25,0	36,61	87,3	5,33	12,7	41,9	"
	9	10,5	15,2	22,11	41,6	13,15	24,8	11,05	20,8	46,31	87,2	6,78	12,8	53,1	"
	10	11,0	10,3	32,30	48,4	14,40	21,6	11,62	17,4	58,32	87,4	8,40	12,6	66,7	"
	11	11,0	5,3	40,94	51,0	15,35	19,1	13,71	17,1	70,00	87,3	10,20	12,7	80,2	"
	12	11,6	3,0	52,84	55,0	16,92	17,6	14,21	14,8	63,97	87,4	12,15	12,6	96,1	"
	13	12,8	1,1	61,96	55,3	18,63	16,6	17,10	15,3	97,69	87,2	14,29	12,8	112,0	"
	14	13,2	0,4	75,34	57,7	20,48	15,7	18,12	13,9	113,94	87,3	16,65	12,7	130,6	"
	15	13,5	0,4	89,82	59,9	22,46	15,0	18,65	12,4	130,93	87,3	19,06	12,7	150,0	"
	Mst	-	100	15,83	37,0	11,51	26,9	9,78	22,9	37,12	86,6	5,66	13,2	42,9	100
IV	2	3,5	12,7			1,02	69,4	0,45	30,6	1,47	100	-	-	-	-
	3	4,5	14,3			1,99	64,5	1,07	36,5	3,01	"	-	-	-	-
	4	5,5	12,2			3,36	63,4	1,94	36,6	5,30	"	-	-	-	-
	5	6,5	14,8			5,71	69,9	2,46	30,1	8,17	"	-	-	-	-
	6	7,5	10,7			6,49	64,2	3,62	36,8	10,11	"	-	-	-	-
	7	8,5	17,7	5,47	30,6	7,40	41,5	4,99	27,9	17,86	"	-	-	-	-
	8	9,0	8,3	15,56	50,8	8,47	27,7	6,58	21,5	30,61	"	-	-	-	-
	9	10,0	8,2	26,99	59,9	9,67	21,5	8,37	18,6	45,03	"	-	-	-	-
	10	11,0	4,6	39,77	66,0	11,01	18,0	10,38	17,0	61,16	"	-	-	-	-
	11	12,5	1,5	53,89	68,2	12,49	15,8	12,60	16,0	78,98	"	-	-	-	-
	12	13,5	0,5	69,36	70,4	14,12	14,3	15,03	15,3	98,51	"	-	-	-	-
	13	13,5	0,5	86,17	72,0	15,89	13,2	17,67	14,8	119,73	"	-	-	-	-
	Mst	-	100	7,56	42,6	6,01	33,9	4,16	23,5	17,73	100	-	-	-	-

Mst = Bestandesmittelstamm

Kieferbestand lediglich 37% Derbholz enthält, bestehen bei der Robinienfläche immer noch über 50% der Biomasse aus "Nicht-Derbholz".

Durch Kombination des Frischgewichts mit den durchschnittlichen Trockengehaltswerten, die in Abschnitt 2.2.6.2. ermittelt wurden, errechnet sich die Trockensubstanz. In Tab. 23 sind die durchschnittlichen Atrogewichte der Mittelstämme aus den vier Probeständen und ihrer Biomassesortimente dargestellt.

Tab. 23: Atrogewicht der Biomasse der Mittelstämme

Baum- teile Bestand	Derbholz		Grobeisig		Feineisig		Wurzel		Insgesamt	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
I	—		0.48	16.3	2.20	74.1	0.28	9.6	2.96	100
SKie II	0.32	6.7	1.89	39.8	1.98	41.7	0.56	11.8	4.75	100
III	7.01	39.3	4.51	25.3	3.92	22.0	2.40	13.4	17.84	100
Ro IV	5.02	45.5	3.92	35.5	2.10	19.0	—	—	11.04	100

Danach beträgt im jüngeren Bestand der Feineisiganteil rd. 3/4 der Biomassentrockensubstanz, während im wesentlichen kein Derbholz abfällt. Erst mit zunehmendem Alter gewinnt dann das Derbholz an Bedeutung. Es umfaßt im 22-jährigen Schwarzkieferbestand 40% der gesamten Biomasse und im ca. 20-jährigen Robinienbestand 45% der oberirdischen Biomasse des Mittelstamms.

Die substanzielle Zusammensetzung der Biomasse aus Holz, Rinde und Laub bzw. Nadeln und ihre Verteilung auf die einzelnen Biomassensortimente veranschaulichen Tab. 24 und Abb. 6:

Tab. 24: Prozentuale Holzanteile der darrtrockenen Biomasse nach verschiedenen Baumteilen

Bestand	Holz				Rinde + Laub bzw. Nadel	Insg.
	> 7 cm ϕ	7-2 cm ϕ	< 2 cm ϕ	total		
I	-	11,6	34,7	46,3	53,7	100
SKie II	6,2	35,6	18,9	60,7	39,3	100
III	39,1	25,1	12,7	76,9	23,1	100
Ro IV	36,2	25,2	11,4	72,8	27,2	100

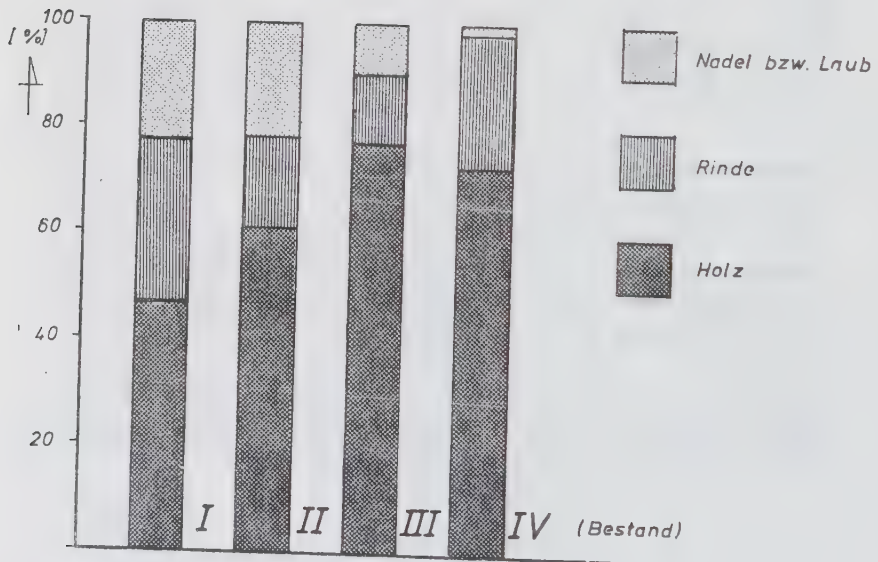


Abb. 6: Darstellung der substantiellen Zusammensetzung der oberirdischen Biomasse

Danach beträgt der Holzanteil im jüngeren Schwarzkieferbestand rd. 46%, im mittleren 61%, im älteren 77% und bei der Robinie 73%. Fast die Hälfte dieses Holzes entstammt in den Beständen III und IV aus dem "Nicht-Derbholz"-Bereich. Ferner ist zu ersehen, daß im jüngeren Schwarzkieferbestand der Rinden- und Nadelanteil mit über 50% den Holzanteil übertrifft.

Während sich die bisherigen Betrachtungen allein auf Einzelbäume bzw. Mittelstämme bezogen, soll im folgenden Abschnitt die Gesamtbiomasse der einzelnen Versuchsflächen näher betrachtet werden. In Tab. 25 wird für die einzelnen Bestände die Atro-Biomassenproduktion in t/ha wiedergegeben. Da die Schwarzkiefernbestände II und III bereits geläutert bzw. durchforstet worden waren, mußten zur Ermittlung der Biomassenproduktion nach eigenen Berechnungen für die Fläche II 21 t/ha und Fläche III 15 t/ha zu der in den Beständen stockenden Biomasse zugerechnet werden. Die Berechnung wurde wie folgt vorgenommen: Die ermittelte Biomasse in Bestand II (42,87 t/ha) entsprach 2/3 der gesamten Biomasseproduktion, da jede 3. Reihe entnommen worden war. Daraus resultiert, daß für die Vornutzung ca. 21 t/ha zugrundegelegt werden können. Im Bestand III betrug die Anzahl der entnommenen Bäume, auf einer ausgesuchten Probestfläche von 0,01 ha, 28 Exemplare. Der Anteil ihrer Biomasse, ohne den zwischenzeitlichen Zuwachsgewinn zu berücksichtigen, mußte vom Stockdurchmesser ausgehend ermittelt werden. Dabei ergab sich ein mittlerer BHD von 4,5 cm m.R. (angenommene Abholzigkeit 1 cm/lfd) und ein Frischgewicht von 13,06 kg/Baum (vgl. Tab. 22). Das so gewonnene Frischgewicht wurde anschließend über die Anzahl der entnommenen Bäume zunächst auf den ha und dann unter Berücksichtigung des Trockengehaltes (vgl. Tab. 20) in t atro umgerechnet.

Somit kann bei den Schwarzkiefernbeständen II und III angesichts der Biomasseproduktion von 64 bzw. 109 t atro/ha von einer hohen Massenerleistung gesprochen werden, während im Bestand I bei einem nur geringen Altersunterschied, wahrscheinlich durch verhältnismäßig schlechte Standortbedingungen, mit 32 t atro/ha die Biomasseproduktion

Tab. 25: Gesamte Biomassenproduktion (atro) der Untersuchungsbestände in t atro/ha

Bestand	Derbholz	Grobreisig	Feinreisig	Wurzel	Insgesamt	Vornutzung	Biomasseprod.
I	0,01	5,20	23,67	3,05	31,93	-	32
SKie II	2,86	17,06	17,89	5,06	42,87	21,0	64
III	36,89	23,73	20,63	12,62	93,87	15,0	109
Ro IV	19,68	15,36	8,25	-	43,29	-	43

erheblich abfällt. Gleicherweise negativ ist die Leistung des Robinienbestandes auf den ersten Blick zu beurteilen. Wie jedoch bereits in Abschnitt 2.2.4.2. erwähnt wurde, waren die Standortbedingungen relativ schlecht und der Bestockungsgrad sehr niedrig. Auf der Basis der in Abschnitt 2.2.6.1. ermittelten Raumdichtewerte läßt sich die Biomasseproduktion von Gewichtswerten auf das Raummaß umrechnen. Danach ergibt sich für die Bestände I bis IV eine volumenmäßige Biomasseproduktion von jeweils 71 Fm i.R., 160 Fm i.R., 282 Fm i.R. und 68 Fm i.R. pro Hektar.

2.3. Zusammenfassende Wertung der Biomasseuntersuchungen

Die zuvor dargestellten Biomasseuntersuchungen, die jedoch lediglich modellhaften Charakter haben, sind in Tab. 26 zusammengefaßt: Dabei wird die natürliche Flächenproduktivität der unterschiedlich alten Bestände, ausgedrückt in Trockensubstanz der einzelnen Baumbestandteile, als das zum jeweiligen Zeitpunkt mögliche fiktive Ernteergebnis dargestellt. Wie bereits anhand von Literaturstudien zu vermuten war, nimmt die pro Flächeneinheit zu erntende Biomasse in den älteren Beständen zu. Dies gilt auch, wenn man die unterirdische Biomassen-

produktion der Bestände, die in den Schwarzkieferflächen immerhin zwischen 0,22 und 0,66 t atro pro Hektar und Jahr liegt, außer acht läßt, was aus ökologischen und ökonomischen Gründen zumindest teilweise erforderlich sein könnte, und sich ausschließlich auf die Produktion der oberirdischen Biomasse konzentriert.

Tab. 26: Die jährliche Biomassenproduktion pro Hektar

Holzart	Bestandes- alter	Oberirdische Biomasse				Wurzel- material † atro i.R.
		t atro je ha	in Prozent			
			Rinde	Nadeln bzw. Laub	Holz	
SKie	14	2.06	31.3	22.4	46.3	0.22
SKie	16	3.53	16.9	22.4	60.7	0.47
SKie	22	4.29	13.4	9.4	76.9	0.66
Ro	$\frac{12-31}{20}$	2.16	24.8	2.4	72.8	---

So ergibt sich für die drei Schwarzkiefernbestände eine jährliche Produktion an Trockenmasse zwischen 2,06 und 4,29 t atro/ha. Davon entfallen auf den Holzanteil, der für die Industrie entscheidende Bedeutung hat 46% im 14-jährigen, 61% im 16-jährigen und 77% im 22-jährigen Bestand.

Weitere interessante Ergebnisse zeigen sich bei dem Vergleich der hier ermittelten Werte mit dem durchschnittlichen Gesamtzuwachs für die normale Umtriebszeit: Nach den Forsteinrichtungsunterlagen des Forstamts Breisach wird für die untersuchten Bestände gemäß ihrer Bonität ein dGz 100 von 3 Vfm Derbholz angegeben, was nach Umrechnung anhand der Ertragstafel ¹⁾ einer Trockensubstanz von 1.81 t (Baumholz) pro

1) $3,0 \text{ Vfm}_D = 4,2 \text{ Vfm}_B$; Raumdichtezahl = 430 kg/fm

Jahr und Hektar entspricht. Demgegenüber betrug die momentane durchschnittliche Leistung der Bestände 1,60; 2,74 bzw. 3,89 t atro Baumholz pro Hektar und Jahr¹⁾. Während der 14-jährige Bestand noch eine unterdurchschnittliche Leistung aufwies, wären bei 16- bzw. 22-jährigem Umtrieb mit Steigerungen der Flächenproduktivität am Baumholz von 51% bzw. 115% zu rechnen.

Vergleichbare Aussagen waren bezüglich der Robinie zu erwarten, allerdings lassen die hierzu ermittelten Ergebnisse aus den bereits oben angeführten Gründen (vgl. Abschnitt 2.2.6.4.) keine sichere Beurteilung der möglichen Leistungssteigerung zu. Bemerkenswert ist jedoch, daß selbst dieser nahezu devastierte Robinien-Nieder (oder Mittel-) waldbestand bei einem durchschnittlichen Bestandesalter von 20 Jahren jährlich 2,16 t atro oberirdische Biomasse pro ha produzierte, wobei ca. 73% auf Holzsubstanz entfielen.

Die Ergebnisse zeigen, daß im Kurzumtrieb erhebliche und z.T. über dem Durchschnitt beim Langumtrieb liegende Baumholz mengen erzeugt werden können, ein Aspekt, der später noch berücksichtigt wird.

1) Ermittelt auf der Basis der in Tab. 26 angegebenen Werte der oberirdischen Biomasse unter Ausschluß der Nadelmasse; eine Rückrechnung von der Gesamtbiomasse in die Baumholzmasse (vgl. PRODAN 1965)

3. HERSTELLUNG VON SPANPLATTEN AUS DEM BIOMASSE-MATERIAL

3.1. Bisherige Untersuchungen

Seit dem die Erntetechnik sich mit Hackung von Biomasse-Material befasst, war die mögliche Verwendung der "Wald-Hackschnitzel" (Green-Chips) eine weitere, zwangsläufig mit diesem Problem verbundene Fragestellung. Da zum damaligen Zeitpunkt die Energiekosten noch relativ gering waren, wurde die Verwertung als Heizmaterial meist von vorneherein ausgeschlossen, hingegen die Herstellung von Spanplatten favorisiert. So untersuchten BUSCHBECK u.a. (1961) bereits zu Beginn der 60er Jahre die Eignung verschiedener Holzarten und Sortimente zur Herstellung von Spanplatten. Die zahlreichen nachfolgenden Forschungsarbeiten waren in ihrem Ansatzpunkt ihrer Zielsetzung und den Wegen der Problemlösung recht unterschiedlich, so daß die folgenden Ergebnisse, nimmt man noch die unterschiedlichen Baumarten hinzu, nur schwer miteinander vergleichbar sind.

Eine Reihe von Autoren wählten als Ausgangsmaterial für ihre Untersuchungen diejenigen Sortimente, die bei den forstlichen Arbeiten der Durchforstung, der Endnutzung und der Schlagabraumbeseitigung anfallen. So stellte der Pole WNUK (1977) aus Hackschnitzeln, die Erstdurchforstungen von 20 - 30-jährigen Beständen entstammten, verschiedene Spanplattentypen her. Die Prüfung der Festigkeitswerte ergab, daß die polnischen Standards erreicht wurden. Dem stehen die Ergebnisse von MAY (1976) gegenüber, der aus Biomasse-Schnitzeln von 20- und 30-jährigen Kiefern bei unterschiedlichem Bindemittleinsatz dreischichtige Spanplatten herstellte. Querkzugfestigkeit und Quellung wurden sehr stark vom Feinanteil und Bindemittelgehalt der Mittelschicht beeinflusst. Um Spanplatten erzeugen zu können, die den Anforderungen der DIN-Normen entsprachen, mußte entweder der Feinanteil reduziert oder die Rohdichte erhöht werden.

PAULITSCH (1977) wählte als Ausgangsmaterial für die Mittelschicht Kronenteile von Buchen und Eichen mit Astdurchmessern unter 10 cm. Selbst bei einem Feinanteil von 40% des Laubholzkrone materials in der Mittelschicht entsprachen die so erzeugten Spanplatten bezüglich Dickenquellung und Querkzugfestigkeit noch den DIN-Vorschriften. PETERS (1976) prüfte aus der Sicht der Spanplattenindustrie folgende Sortimente auf ihre Verwendbarkeit als Mittelschichtspäne für V20-verleimte Spanplatten.

- Buche und etwas Eiche aus einem Vorratspflegehieb
- Hainbuche, Erle, Eiche und etwas Buche aus einer Endnutzung
- Kiefer (BHD 20) aus der Durchforstung eines 70-jährigen Reinbestandes

Bei der Verarbeitung der Hackschnitzel ergaben sich keinerlei besondere Schwierigkeiten, auch wurden die geforderten Festigkeitseigenschaften und die Dickenquellung eingehalten. Als einziges Negativum gab man die höheren Trocknungskosten an.

Während sich die vorhergehenden Untersuchungen weitgehend auf das gesamte bei den verschiedenen Holzerntemaßnahmen anfallende Sortiment bezogen, konzentrierten sich andere Autoren auf einzelne Biomassebestandteile, und hier vor allem auf Ast- und Reisig- sowie Stock- und Wurzelmaterial, bei denen besondere Schwierigkeiten zu erwarten waren. So stellten GÜNTHER (1972) u.a. aus Kiefernastholz ein- und dreischichtige Spanplatten her. Die Prüfergebnisse waren allgemein befriedigend; jedoch schwankte die Rohdichte relativ stark. Die verminderte Biegefestigkeit ließ den Einsatz dieses Materials in der Deckschicht problematisch erscheinen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen KEHR und DRECHSLER (1978), die Kiefernastholz im Durchmesserbereich von 3-100 mm mit und ohne Nadeln in der Mittelschicht von Spanplatten einsetzen:

Bei vollständiger Verarbeitung des Astmaterials ergab sich eine erhebliche Qualitätsverminderung der Platten. Durch Aussortieren eines Teils der Nadeln und Rinde konnten die geforderten Güte werte jedoch eingehalten werden. Weniger problematisch stellt sich nach BIBLIS

und LEE (1978) die Verwendung von Wurzel- und Stockholz zur Spanplattenherstellung dar. Die beiden Autoren berichten, daß Platten, erzeugt aus dem vorgenannten Sortiment aus 16-jährigen Beständen der Baumart *Pinus taeda*, in ihren Eigenschaften die geforderten Normen entweder erreichten oder sogar überschritten. Sehr systematische und umfassende Untersuchungen über Verwendungsmöglichkeiten der einzelnen Biomassebestandteile zur Spanplattenherstellung führten LIIRI u.a. (1972) und CHEN u.a. (1972) durch. Dabei fanden sie, daß die Qualität der Spanplatten, vor allem die Querzug- und Biegefestigkeit, in erster Linie von der Beimischung von Nadeln und Rinde abhängig sind, was durch Untersuchungen von HAWARD (1973), LIIRI u.a. (1973), CHEN und PAULITSCH (1974) sowie KEHR und DRECHSLER (1978) bestätigt wurde. Auch sind in den letzten Jahren nennenswerte Untersuchungen durchgeführt worden, um Rinde, Nadeln und Feinanteil zu separieren (AROLA u.a., 1976).

In einem sehr umfangreichen Vorhaben hat CARRE (1979) aus Ganzbaummaterial von drei Laubholzarten und einer Nadelholzart bei einem Leimanteil von 8% V 20-verleimte Einschichtplatten hergestellt. Das Biomassematerial wurde dabei in die Sortimente Holz, Rinde, Dünnäste (< 1 cm ϕ) und eine Mischung aus 20% Rinde bzw. Dünnäste mit 80% Holzspänen unterteilt. Dabei ergab sich folgendes:

Die technischen Eigenschaften der aus Dünnholz hergestellten Platten stellten Mittelwerte zwischen den Rinden- und Holzspanplatten dar. Durch die Wahl einer höheren Holzdichte ließen sich diese noch weiter verbessern. Die Eigenschaften der Mischplatten lassen sich aus den Werten, wie sie bei der Erzeugung der Platten aus den einzelnen Komponenten erzielt wurden, berechnen:

Der Rinden- und Schwachästeanteil übt einen deutlichen Einfluß auf die Platteneigenschaft aus. Durch Ausscheiden eines Teils der Feinfraktion, die hauptsächlich aus Rinde besteht, läßt sich die Qualität der Platten erheblich verbessern.

3.2. Zielsetzung und methodische Grundlagen der Spanplattenherstellung

Ausgehend von dem unter Kap. 1 dargelegten Gesamtziel und aufbauend auf den Ergebnissen der oben dargelegten bereits vorliegenden Untersuchungen war es das Ziel einer zweiten experimentellen Phase, aus den in Kap. 2 näher beschriebenen, in den eigenen Versuchen gewonnenen Biomasse-Sortimenten Spanplatten herzustellen und die verschiedenen Eigenschaften zu prüfen. Aufgabe war es hierbei, den Einfluß der einzelnen Biomassebestandteile auf die Qualität der Spanplatten zu ermitteln, u.a. um damit auch Anhaltspunkte für eine mögliche wirtschaftliche Verwertung der Holzhackschnitzel aus verschiedenen alten Beständen zu erhalten. Dabei ergaben sich folgende methodische Grundlagen und Abgrenzungen der Versuche:

- Aufbauend auf der in Kap. 2 beschriebenen Zusammensetzung des Biomassematerials wurde nach der Zerspanung eine weitere Charakterisierung mit dem Ziel, zusätzliche Grundlagen für eine Bewertung des Spanmaterials zur Plattenherstellung zu schaffen, vorgenommen. Hierzu wurden die Spandimensionen (vor allem Dicke und Länge), die Fraktionsverteilung, die Streudichte bzw. das Schüttgewicht und der pH-Wert der einzelnen Spansortimente bestimmt (vgl. KLAUDITZ (1952); PLATH (1953); SCHEIBERT (1958); SANDERMANN und ROTHKAMM (1959); KEHR und SCHERFKE (1963); RACKWITZ (1963); DEPPE und ERNST (1964) u.w.m.. In diesem Zusammenhang wurde, um den Versuchsumfang nicht noch weiter ausdehnen, das Rohmaterial nur mit einem Zerspanertyp zerspannt, der für dieses schwach dimensionierte Material besonders geeignet erschien.
- Bei der Wahl der Art und der Menge des eingesetzten Bindemittels und Härters beschränkte sich der Versuch auf einen Typ und eine Konzentration, wobei bekannt war, daß durch entsprechende Variation die wesentlichen Platteneigenschaften vorteilhaft zu beeinflussen sind. Entscheidend war in diesem Zusammenhang, die Gegebenheiten der Praxis zu berücksichtigen und die

Einflüsse der verschiedenen Sortimente auf die Platteneigenschaften möglichst klar herauszuarbeiten.

- In den Untersuchungen wurde vorwiegend direkt aus dem Wald transportiertes Material verwendet. Um auch etwaige klimatische Einflüsse während der Lagerung des Biomassematerials auf Plattenqualität bestimmen zu können, wurde ein Teil der Hack- und Schnitzel längere Zeit im Freien gelagert.
- Bei der Wahl des Plattentyps wurde entschieden, nur Einschichtplatten herzustellen, da hier am augenfälligsten und mit dem geringsten Aufwand der Einfluß der verschiedenen Biomasse-sortimente auf Plattenqualität ermittelt werden konnte. Davon blieb unberührt, daß sich für die Praxis der Einsatz der einzelnen Sortimente für die Deck- bzw. Mittelschicht von Dreischichtplatten anbieten wird, womit auch höhere Festigkeitswerte zu erzielen sein werden.
- Aufgrund der in Kap. 2 beschriebenen Biomassesortimente ergaben sich entsprechend 11 Plattentypen. Die Berücksichtigung aller möglichen Mischungen der Sortimente, wie sie sich aus den verschiedenen Beständen ergab, hätte den möglichen Versuchsumfang überschritten. So beschränkte sich der Hauptversuch auf die 11 Grund-Plattenarten. Die Eigenschaften der Mischplatten sollten durch eine nach den jeweiligen Anteilen gewichtete Kombination dieser Grundtypen simuliert werden. Zur Überprüfung dieser These wurden im Vorversuch einige Mischplatten erzeugt.
- Zur Qualitätsbeurteilung der Platten sollten die mechanischen Eigenschaften, Biege- und Querkzugfestigkeit sowie die Quellung gemessen werden. Auf die Ermittlung weiterer Eigenschaften wie Farbe, Brandverhalten, Widerstand gegen tierische und pflanzliche Organismen sowie Oberflächenbeschaffenheit der Platten wurde verzichtet, da sie zum einen in keinem direkten

Zusammenhang mit den einzelnen Sortimenten stehen dürften und zum anderen keine speziellen Aussagen über die Verwendungsmöglichkeiten der Platten zu geben erwarten ließen.

3.3. Versuchsdurchführung

3.3.1. Materialaufbereitung

Als Ausgangsmaterial zur Herstellung der Spanplatten dienten die bei der Ermittlung der Biomassezusammensetzung angefallenen Sortimente der beiden Baumarten Schwarzkiefer (SKie) und Robinie (Ro):

- SKie-Derbholz, aus dem BHD-Bereich 7-12 cm
- Ro-Derbholz, aus dem BHD-Bereich 7-12 cm
- SKie-Grobreisig, mit einer Durchmesserstärke von 2-7 cm
- Ro-Grobreisig mit einer Durchmesserstärke von 2-7 cm
- SKie-Feinreisig, mit einer Durchmesserstärke von < 2 cm mit Nadel
- Ro-Feinreisig, mit einer Durchmesserstärke von < 2 cm mit Laub
- SKie-Wurzelholz.

Die substantielle und morphologische Zusammensetzung dieser einzelnen Biomasse-Bestandteile ist im 2. Kapitel eingehend beschrieben worden. Die einzelnen Bestandteile wurden getrennt ins Werk transportiert und dort mit einem Scheibenhacker (Bauart Pallmann), der auf theoretische Hackschnitzzellänge von 30-40 mm eingestellt war, zerkleinert.

Für den Lagerungsversuch wurden dann die Hackschnitzel der einzelnen Biomassebestandteile in dem Verhältnis, wie es sich aus der Biomasse-Untersuchung ergeben hatte, gemischt und von Mitte August bis ca. Mitte Oktober im Freiland gelagert. Bei der Schwarzkiefer (SKie) legte man die Mischungsverhältnisse des 22-jährigen Bestandes zugrunde. Die Menge des gelagerten Materials betrug bei Schwarzkiefer 40 kg und bei Robinie 30 kg.

Das übrige Material wurde sofort in einem Messerringzerspaner (Bauart Pallmann, Typ PZ 8) zerspant. Die gleiche Behandlung erfuhr später auch das gelagerte Material. Die Holzfeuchtigkeit der einzelnen Span-Sortimente lag bei der Zerspaltung für die Schwarzkiefer mit $F_u = 50 - 100\%$ über der für die konventionelle Spanplattenherstellung geltenden Minimalgrenze von $F_u = 40\%$, unterhalb der nicht mehr von einer günstigen Zerspaltung ausgegangen werden kann, während bei der Robinie diese Grenze gerade noch eingehalten werden konnte. Anschließend wurde die Feuchtigkeit der Span-Sortimente in einem Schilde-Trockner (Typ ERR) auf 10-15% herabgesetzt. Auf eine Untersuchung über den zeitlichen Verlauf der Trocknung in Abhängigkeit von Eingangsfeuchte wurde verzichtet, da die vorhandene Eingangsfeuchte der Materialien nicht mehr repräsentativ für frischgefällte Biomasse war.

Damit ergaben sich für die Produktion der Probeplatten je Baumart folgende Einsatzmaterialien:

- Derbholz-Späne
- Grobreisig-Späne
- Feinreisig-Späne
- Wurzelholz-Späne (nur bei der Schwarzkiefer)
- Biomasse-Späne
- gelagerte Biomasse-Späne

Die folgenden Bilder 1-5 (Abb. 7 und 8) stellen die aufbereiteten Spansortimente dar:



Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4



Bild 5

Abb. 7: Schwarzkiefer-Späne

- 1 : Wurzelspäne
- 2 : Schaftderbholzspäne
- 3 : Grobreisigspäne
- 4 : Feinreisigspäne
- 5 : Ganzbaumbiomasse-Späne
(ober- und unterirdische
Biomasse)



Bild 1: Schafthderbholzspäne



Bild 2: Grobreisigspäne

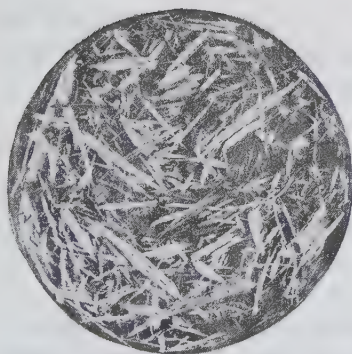


Bild 3: Feinreisigspäne



Bild 4: Ganzbaumbiomassespäne
(oberirdische Biomasse)

Abb. 8: Robinienspäne

3.3.2. Prüfung der Einsatzmaterialien

Um nähere Informationen über die Eigenschaften des Spanmaterials zu erhalten, mußten zusätzlich Untersuchungen über die Form der Späne und den pH-Wert des Gesamtmaterials durchgeführt werden.

3.3.2.1. Spananalyse

Gemäß den in der Spanplattenproduktion verwendeten Methoden wurden an den einzelnen Sortimenten Spananalysen durchgeführt:

- Aus dem zur Verfügung stehenden Spanmaterial je Sortiment wurden nach Mischung jeweils 5 kg entnommen und die Feuchtigkeit (u) durch Messung mit der Darrwaage GRONERT ULTRA X ermittelt. Da die Feuchtigkeit der Spansortimente weitgehend innerhalb des Bereiches von 8-12% lag, wurde auf eine weitere Trocknung bzw. Wiederbefeuchtung der Späne verzichtet.
- Durch Füllen eines Meßkastens von 10 l Inhalt, indem die Späne mit der Hand locker eingestreut wurde, sollte das Schüttgewicht bzw. die Streudichte der Späne ermittelt werden.
- Danach erfolgte eine Siebung der Gesamtmenge mit einem Schwingesieb, das eine Maschenweite von 1,25 mm aufwies, woraus sich der prozentuale Anteil der beiden Spanfraktionen errechnen ließ.
- Für eine differenzierte Analyse wurden aus den beiden oben ermittelten Fraktionen entsprechend ihrer prozentualen Anteile 100 g eingewogen und mit Hilfe eines Rüttelsiebes (RETAC) einer weiteren Siebung unterworfen. Die lichte Maschenweite der Siebe betrug 0,315 - 0,63 - 1,0 - 1,6 - 2,5 - 4,0 - 6,3 - 10,0 mm. Zur Erzielung repräsentativer Werte erfolgten je Sortiment 3 Siebungen pro Versuch. Die erhaltenen Fraktionen

wurden gemeinsam gewogen. Als Siebzeit waren je Durchgang 5 Minuten und als Vibrationsfrequenz 15 Hz eingestellt.

- Für die Spandicken- und Spanlängenmessung wurde aus dem durch Schwingsieb erhaltenen Grobanteil (über 1,25 mm Maschenweite) durch "Vierteln" eine Menge von 3-5 g entnommen, die Spandicke sowie -länge ermittelt und danach ein Mittelwert errechnet.

3.3.2.2. pH-Wert-Messung

Es wurden je Sortiment 10 g Späne in 100 ml destiliertem Wasser aufgeschwemmt, 24 Stunden stehengelassen und danach elektrometrisch der pH-Wert des Wassers bestimmt. Diese Untersuchung wurde im Laboratorium des Instituts für Bodenkunde der Universität Freiburg durchgeführt.

3.3.3. Plattenherstellung

Das Ausgangsmaterial bildeten die in Abschnitt 3.3.1. beschriebenen 11 Span-Sortimente, bei denen davon ausgegangen werden konnte, daß sie in sich homogen seien:

Zunächst reduzierte man die Feuchtigkeit durch eine zusätzliche Trocknung noch weiter und beleimte danach das Spanmaterial in einem DRAIS-Labormischer. Es wurden folgende Feuchtigkeiten gemessen:

2-4% vor Beleimung und 9-12% nach Beleimung.

Nach der Beleimung erfolgte die Aufteilung des Spanmaterials durch manuelle Streuung der Plattenformlinge in einem Rahmen von 41,5 x 41,5 cm. ¹⁾ Als Unterlage wurde Stahlblech verwendet.

1) Für den Basisversuch wurden je 6 Formlinge pro Plattentyp hergestellt, während in den Vergleich- und Lagerungsversuchen nur je 4 Formlinge gestreut wurden.

Die Formlinge wurden dann in einer BECKER v. HOLLEN-Laborpresse auf die durch Distanzleisten bestimmte Dicke von 17,5 mm zu Rohplatten verpreßt. In der Rohplattendicke war eine Schleifzugabe von ca. 1,5 mm enthalten. Im einzelnen wurden folgende Herstellungsbedingungen eingehalten:

- Plattenformat: 40 x 40 cm
- Plattendicke: 16 mm
- Plattenaufbau: einschichtig
- Bindemittel-Typ: Harnstoffharz K 385 (üblicher Härter)
- Bindemittel-Menge: 8% (Festharz, bezogen auf atro-Späne)
- Hydrophobierungsmittel: Paraffinemulsion, 0,4% (Feststoff, bezogen auf atro-Späne)
- Pressbedingungen: Heizplattentemperatur 160° C, Pressdruck 30 kp/cm², Gesamtpresszeit 5 Minuten.
- Soll-Rohdichte r_u = 8%: 680 kg/m³

Die Rohplatten wurden nach einer Lagerzeit von ca. 20 Stunden besäugt und anschließend auf einer BÜTTCHER + GESSNER-Breitband-Kontakt-schleifmaschine beidseitig gleichmäßig auf Nennmaß geschliffen. Die fertigen Platten wiesen eine Dicke von 16,2 bis 16,5 mm und eine Feuchtigkeit von 8 bis 10% auf.

Die folgenden Bilder 1-5 (Abb. 9 und 10) stellen die hergestellten Probepplatten dar:

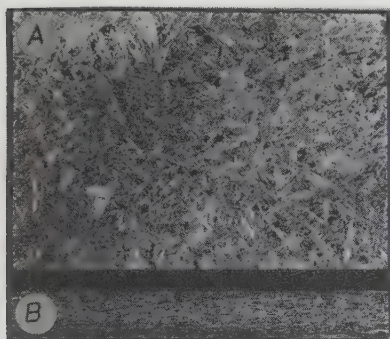


Bild 1

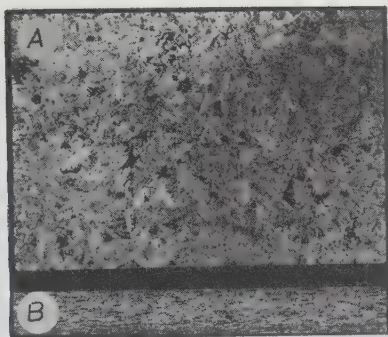


Bild 2

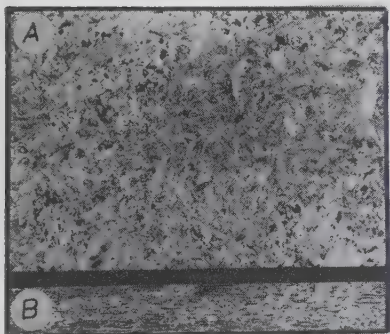


Bild 3

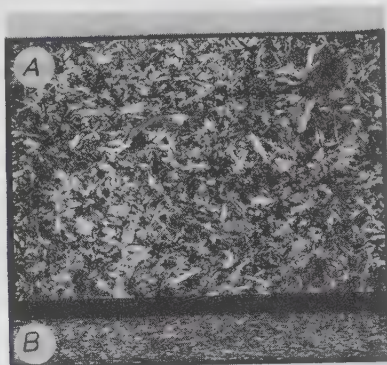


Bild 4

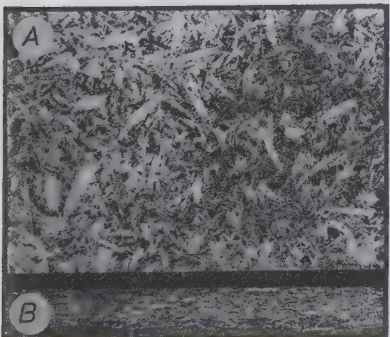


Bild 5

Abb. 9: Ober- (A) und Schmalfläche (B) der Probeplatten aus Schwarzkiefer

- 1 : Aus Wurzelmaterial
- 2 : Aus Schaftderbholz
- 3 : Aus Grobreisig
- 4 : Aus Feinreisig
- 5 : Aus Ganzbaumbiomasse (ober- und unterirdische Biomasse)

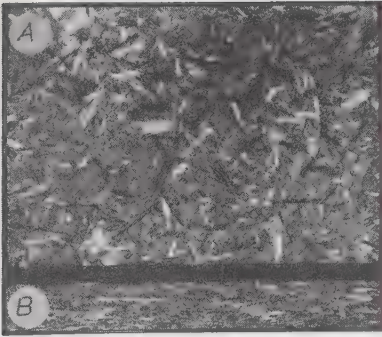


Bild 1: Aus Schaftholzbauholz

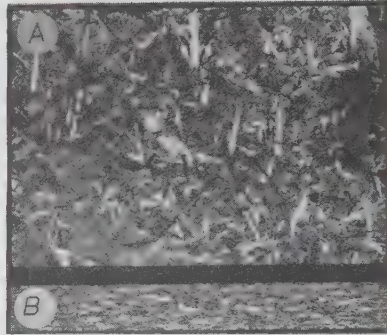


Bild 2: Aus Grobreisig

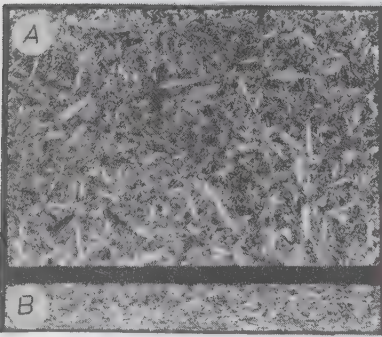


Bild 3: Aus Feinreisig

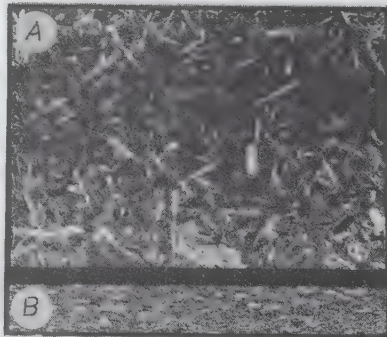


Bild 4: Aus Vollbaumbiomasse
(oberirdische Biomasse)

Abb. 10: Ober- (A) und Schmalfläche (B) der
Probeplatten aus Robinie

3.3.4. Plattenprüfung

Die Prüfkörper konnten nicht klimatisiert werden. Jedoch erfolgte die Prüfung erst nach einer mindestens 48-stündigen Lagerung bei Temperaturen von $19 \pm 3^\circ \text{C}$ und einer Luftfeuchtigkeit von $62 \pm 7\%$ was von dem Normklima ($t = 20 \pm 2^\circ \text{C}$ und $u = 65 \pm 3\%$) nur gering abweicht. Hierdurch sollte ein systematischer Fehler durch eine ungleichmäßige Feuchtigkeitsverteilung in der Platte weitgehend ausgeschlossen sein.

Die Plattenprüfung erfolgte nach den nachfolgend aufgeführten DIN-Normen. Wegen des kleinen Plattenformats wurden anstelle von 10 nur 8 Prüfkörper entnommen. Ferner wurde je Plattentyp 1 bzw. 2 Musterplatten mit einer DIN A 4 Größe ausgehalten, wobei aus dem Rest je 4 Prüfkörper hergestellt werden konnten (Abb. 11). Die Prüfkörperentnahme erfolgte nach DIN 52360.

Im einzelnen wurden folgende Prüfungen vorgenommen:

- Plattendicke nach DIN 52361:

Die Dickenmessung erfolgte an den Prüfkörpern für die Dickenquellung.

- Rohdichte nach DIN 52361:

Die Rohdichte wurde als Mittelwert aus den Prüfkörpern für Dickenquellung, Biegefestigkeit und Querkzugfestigkeit ermittelt.

- Biegefestigkeit nach DIN 52362, Bl. 1:

Abweichend hiervon wurde aufgrund der Abmessungen der Laborplatten beim Biegeversuch mit einer Stützweite von 200 mm gearbeitet.

- Querkzugfestigkeit nach DIN 52365

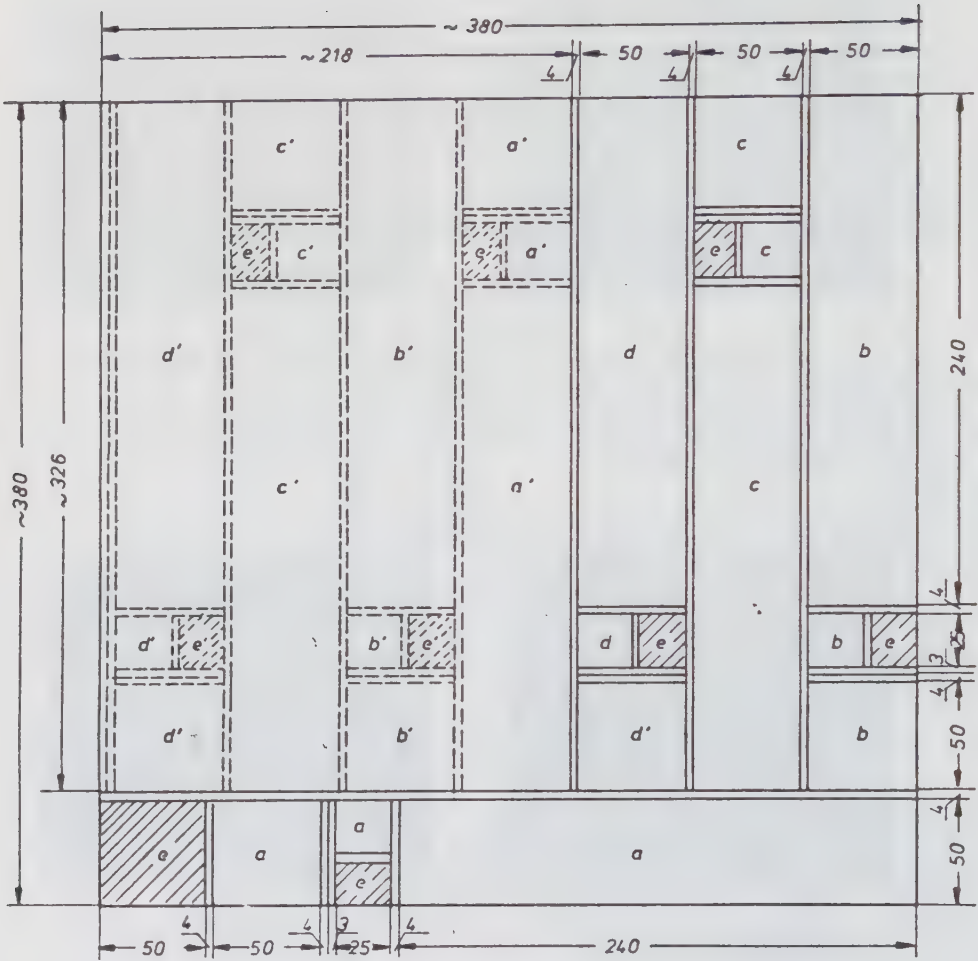


Abb. 11: Entnahmeschema für die Probeplatten

- Dickenquellung nach DIN 52364:
Dauer der Wasserlagerung jeweils 2 und 24 Stunden
- Plattenfeuchte nach DIN 52361:
Abweichend von dieser Norm (3 Proben von 50 x 50 mm) wurde aufgrund des zur Verfügung stehenden Versuchsmaterials hierbei mit einem Prüfkörper von 50 x 50 mm und 8 bzw. 4 Prüfkörpern von je ca. 20 x 25 mm gearbeitet.

Die Biege- bzw. Querkzugfestigkeitsprüfungen erfolgten bei einer Geschwindigkeit von 9,5 mm/min der Prüfmaschine der OTTO WOLPERT Werke, Typ U2.

3.3.5. Auswertung der Prüfergebnisse

Die rechnerische und statistische Auswertung der erhobenen Meßdaten wurde auf der EDV-Anlage der Universität Freiburg durchgeführt. Dazu ist folgendes erläuternd zu bemerken:

- Zur Bildung des Mittelwerts der einzelnen Merkmale wurde folgende Formel angewandt:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^k l_i \bar{x}_i \quad \text{mit } I = \sum_{i=1}^k l_i$$

wobei k die Anzahl der Platten, l_i Anzahl der Proben innerhalb der Platten, $\bar{x}$ den Mittelwert innerhalb der Platten und $\bar{\bar{x}}$ den Mittelwert zwischen den Platten darstellt. Diese modifizierte Mittelwertbildung war deshalb notwendig, weil die Anzahl der Proben wegen der Entnahme von Musterplatten bei den einzelnen Platten unterschiedlich war.

- Unter der Bezeichnung 'P' werden die Vertrauensbereiche der Merkmale angegeben, die bei einer statistischen Sicherheit von 95% ermittelt worden sind, während 'P' den gewogenen Fehler bzw. den Vertrauensbereich, der nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ($P' = \sqrt{P_1 Q_1 + P_2 Q_2 + \dots + P_n Q_n}$; P = Fehler und Q = Prozentsatz) errechnet wurde.

- Um die Variablen Querkzug- und Biegefestigkeit sowie Quellung der verschiedenen Versuche miteinander vergleichen zu können, hätten die Werte für die Platten-Feuchtigkeit, die Dichte und die Dicke in allen Versuchen annähernd gleich sein müssen. Da jedoch dies aus - insbesondere bei Plattenrohddichte - technischen Gründen (vor allem hinsichtlich der Handstreuung) nicht der Fall war, wurde eine Homogenisierung der Versuchsergebnisse angestrebt, wobei Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Variablen (Querkzug-, Biegefestigkeit und Quellung) und den unabhängigen Variablen (Dicke, Dichte und Feuchte) gesucht und bei hinreichender Korrelation standardisierte Werte für die 3 unabhängigen Größen eingesetzt wurden. Als unabhängige Variable wurden bei dieser multiplen Regression außer den linearen Faktoren Rohddichte, Dicke und Feuchte auch die quadratischen hinzugenommen, um größere Abhängigkeiten zu bekommen. Die Regressionsanalyse erfolgte schrittweise, d.h. die abhängigen Variablen wurden jeweils nach der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt und Schritt für Schritt durch Einbeziehung neuer Variablen verbessert. Diese Auswertungen wurden mit Hilfe des statistischen Programmpakets "SPSS 6" durchgeführt. Die multiplen Korrelationskoeffizienten lagen dabei zwischen 0,35 und 0,90. Dieses Ergebnis ließ es nicht zu, bei der zugrunde gelegten Sicherheitsgrenze von 5% die Regression als gesichert anzusehen.

Somit wurde auf die Homogenisierung in der vorher genannten Form der Vergleichsergebnisse verzichtet und statt dessen die Platteneigenschaften in Abhängigkeit von der jeweiligen Ist-Rohdichte der Platten auf die Soll-Rohdichte von 680 kg/m^3 umgerechnet (vgl. LIIRI u.a. 1977), wobei der Einfluß der Dicke und Feuchte wegen den niedrigen Standardabweichungen von jeweils $\pm 0,15 \text{ mm}$ (bei der Dicke) und $\pm 1,0\%$ (bei der Feuchtigkeit) vernachlässigt wurde.

Danach galt es, die im Abschnitt 3.2. aufgestellte These - die Eigenschaften der Mischplatten ergeben sich aus den je nach prozentualen Anteil gewichteten Eigenschaften der Platten aus den einzelnen Biomassebestandteilen - zu überprüfen. Dazu wurden in Tab. 27 die Versuchsergebnisse anhand der Mischplatten den hochgerechneten Werten gegenübergestellt.

Tab. 27: Gegenüberstellung der Ergebnisse von Vergleichsversuchen

Eigenschaft	Skie-Biomasse		RO-Biomasse	
	a	b	a	b
Biegefestigkeit in kp/cm^2	$\bar{x}$	229	215	193
	$\pm s$	5	26	13
Querzugfestigkeit in kp/cm^2	$\bar{x}$	5,2	5,4	5,5
	$\pm s$	0,7	1,0	0,7
Quellung in % nach 2h	$\bar{x}$	6,0	4,8	3,2
	$\pm s$	1,0	0,8	0,6
Quellung in % nach 24h	$\bar{x}$	21,3	18,9	11,7
	$\pm s$	1,6	2,1	1,8

a) direkt ermittelte Werte; b) hochgerechnete Werte

Hieraus wird ersichtlich, daß eine gewisse Differenz vorhanden ist, die jedoch, wenn man die jeweiligen Streuungen berücksichtigt, nicht als wesentlich betrachtet wird. Zusammengefaßt kann festgestellt werden, daß das angewandte Verfahren prinzipiell zu akzeptieren ist. Damit erscheinen die vorgesehenen Auswertungen auf einer gesonderten Basis möglich zu sein.

3.4. Versuchsauswertung

3.4.1. Ergebnisse der Materialprüfung

3.4.1.1. Siebanalyse

Die Ergebnisse der Siebanalyse der einzelnen Sortimente zeigen, wie in Tab. 28 dargestellt, bei den Schwarzkiefer-Spänen deutliche Unterschiede in Bezug auf die Größenverteilung. In Abb. 12 werden die Werte der Siebanalyse mit Ergebnissen verglichen, wie sie von WNUK (1977) für in der Industrie aus normalen Kiefer-Hackschnitzeln gewonnenes Spangut beschrieben sind.

Hieraus ergibt sich folgendes: Während beim Feinanteil ($< 1,0$ mm) das Aufkommen beim Schaftderbholz und verstärkt beim Grobreisig um 3 bzw. 6% unter den Werten für normale Industrie-Späne liegt und damit als günstig zu bezeichnen ist, überschreiten die Werte der Wurzelholz-späne den Basiswert um ca. 4%. Besonders gravierend ist der hohe Feinanteil von 48,3%, und damit 17% über der Vergleichszahl liegend anzusehen. Verstärkt wird dieses negative Bild noch durch die Tatsache, daß die Feinreisig-Späne zusätzlich einen überproportional hohen Staubanteil (unter 0,315 mm Partikelgröße) aufweisen.

Recht gleichmäßig ist der Anfall von "Normalspänen", d.h. Partikelgrößen 1,0 bis 4,0 mm, der 4,4% (Wurzelholz) nach unten und 3,8% (Feinreisig) nach oben vom Basiswert 44,8% für Industrie-Späne abweicht.

Tab. 28: Fraktionsverteilung des Spanguts aus den einzelnen Baumbestandteilen der Schwarzkiefer und Robinie in Gewichtsprozent (Feuchtigkeiten: $11 \pm 1\%$ bei SKie, $8 \pm 0,5\%$ bei Ro)

Siebmaschenweite in mm	Spansortiment									
	SKie			Ro						
	W	SD	GR	FR	SD	GR	FR	SD	GR	FR
< 0,315	5,2	2,8	2,3	9,4	4,7					
0,315 - 0,63	11,1	33,5	7,2	16,3	9,7	23,3	48,3	29,5	9,8	29,2
0,63 - 1,0	17,2	15,7	13,8	22,6	15,1			15,1	15,9	17,6
1,0 - 1,6	16,4	18,5	16,9	22,0	17,8				19,1	18,2
1,6 - 2,5	17,8	40,4	20,3	19,5	22,2	44,4	48,6	51,0	21,7	50,9
2,5 - 4,0	6,2	7,0	7,2	7,1	11,0				10,1	13,7
4,0 - 6,3	18,0	25,3	24,6	3,1	15,7				17,1	5,0
6,3 - 10,0	3,0	26,1	7,3	-	3,1	32,3	3,1	19,5	2,5	19,9
> 10,0	5,1	-	0,4	-	0,7				0,3	-

SD: Schaftholz; GR: Grobreisig; FR: Feinreisig; W: Wurzelholz

Der Anteil der Grobspäne ($> 4,0$ mm Partikelgröße), die im industriellen Prozeß noch einmal nachzerkleinert werden müssen, ist bei Wurzelholzspänen gleich dem bei Industrie-Spänen (ca. 26%). Etwas darüber liegen die Werte für Derbholzspäne (2,6%) und Grobreisigspäne (6,4%). Außerordentlich niedrig liegt dagegen der Grobspananteil beim Feinreisig.

Damit ergibt sich aus der Spananalyse für die Schwarzkiefer, daß kein Biomasse-Sortiment als optimal, d.h. mit niedrigem Fein- und Grobanteil und höchsten Anteil an Normalspänen bezeichnet werden kann. Beim Schaftderbholz ergibt sich stets, gemessen am Industriespananteil, zwar ein niedrigerer Feinspan-, aber auch ein höherer Grobspananteil.

Im übrigen entspricht dieses Sortiment und auch die Grobreisigspäne in ihrer Verteilung weitgehend den Industriespänen. Beim Feinreisig erhält man zwar annähernd 50% als Feinanteil, daneben ergeben sich aber auch der höchste Normalspananteil und der niedrigste Anteil an Grobspänen.

Bei der Robinie sind die gleichen Tendenzen wie bei der Schwarzkiefer zu erkennen. Da keine Angaben über eine vergleichbare Holzart und deren Verwendung in der Spanplatten-Industrie vorlagen, wird das Sortiment "Schaftderbholz" als Basis gewählt. Der Feinreisiganteil bei den Sortimenten Schaftderbholz und Grobreisig entspricht dem für Industriespäne angegebenen Wert. Der Anteil von 39% beim Feinreisig liegt zwar wesentlich über den vorherigen Ergebnissen, aber auch nennenswert unter dem Wert beim gleichen Sortiment der Schwarzkiefer.

Bei den Normalspänen erhält man stets etwas mehr als 50% (bezogen auf die jeweiligen Sortimente), wobei auch hier für das Feinreisig mit 56% der höchste Wert erreicht wird. Dies übertrifft sowohl die bei der Schwarzkiefer als auch die bei Industrie-Spänen ermittelten Ergebnisse bei weitem. Folgerichtig muß der Grobanteil durchgehend unter den Werten für die beiden anderen Kollektive liegen. Am günstigsten ist hier wiederum das Feinreisig zu bewerten.

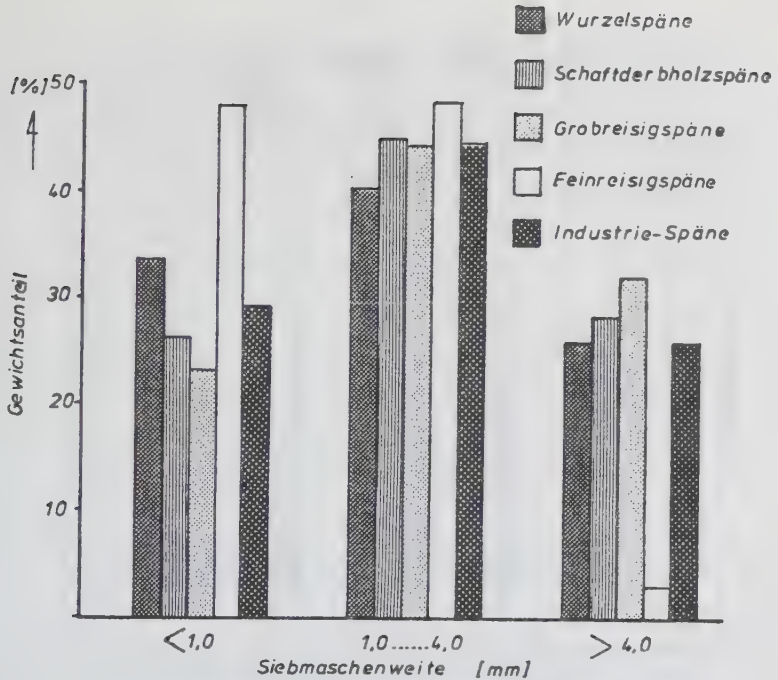


Abb. 12: Fraktionsverteilung des Spangutes der Schwarzkiefern-sortimente und "normaler" Industrie-Späne aus Kiefer

Ergänzend wurde errechnet, welche Fraktionsverteilung sich bei Nutzung der gesamten Biomasse in den einzelnen Beständen ergäbe, indem die Verteilung der Spanfraktionen bei den einzelnen Sortimenten (s.o.) mit der Sortimentsgliederung in den Beständen kombiniert wurde (Abb. 13). Danach zeigt sich, daß bei den Schwarzkieferbeständen mit zunehmendem Alter der Feinanteil (< 1,0 mm) abnimmt, der Grobanteil (> 4,0 mm) zunimmt, während das Aufkommen an Normalspänen (> 1,0 < 4,0 mm) annähernd gleich bleibt. Dem gegenüber wurde bei der Robinie fast der gleiche Feinanteil, weniger Grobanteil, dafür aber mehr Normalspäne ermittelt. Eine Ursache konnte darin zu sehen sein, daß bei der Robinie kein Wurzelholz erfasst wurde.

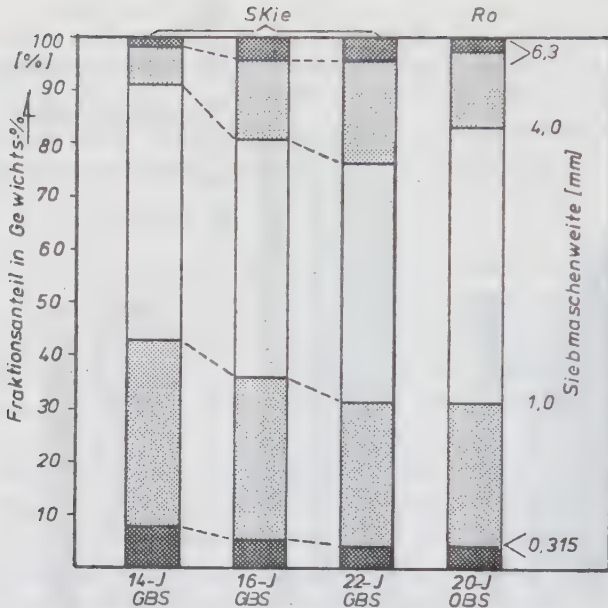


Abb. 13: Fraktionsverteilung der Ganzbaum-Biomassespäne (GBS) bzw. der oberirdischen Biomassespäne (OBS) in den Schwarzkieferbeständen und dem Robinienbestand

3.4.1.2. Spanabmessungen und Streudichte der Späne

In Tab. 29 sind die durchschnittlichen Dicken- und Längenabmessungen sowie der Schlankheitsgrad und die Streudichte des Spanmaterials aus den einzelnen Biomasse-Sortimenten aufgeführt. Zusätzlich werden die entsprechenden Werte für die jeweiligen Untersuchungsbestände, wie sie sich durch Umrechnung der Einzelergebnisse ableiten lassen, angegeben.

Die mittleren Dicken der Späne variieren zwischen 0,58 - 0,63 mm bei der Schwarzkiefer und 0,56 - 0,61 mm bei Robinie, wobei festzustellen ist, daß sowohl innerhalb als auch zwischen den einzelnen Holzarten nur unwesentliche Unterschiede bestehen. Die Schwankungsbreiten der Dicken der Schwarzkieferspäne sind beim Feinreisig am größten. Insgesamt

Tab. 29: Abmessungen und Streudichte des Spanmaterials aus den einzelnen Biomassetypen der Schwarzkiefer und Robinie (Feuchtigkeit: 9 - 12%)

Ausgangs- material	Skie-			Ro-			Skie-GBS			Ro-GBS 20-j.
	SD	GR	FR	W	SD	GR	FR	14-j.	16-j.	22-j.
Spanndicke (in mm)	$\bar{x}$	0,607	0,634	0,580	0,598	0,606	0,559	0,590	0,606	0,607
	s	0,256	0,266	0,346	0,293	0,277	0,280	0,329	0,304	0,285
Spanlänge (in mm)	$\bar{x}$	9,0	8,6	6,5	10,1	11,1	6,9	7,2	7,9	8,5
	s	4,9	4,8	4,3	5,3	5,7	4,8	4,5	4,7	4,8
Schlankheit l/d	$\bar{x}$	14,8	13,6	11,2	16,9	18,3	12,3	12,2	13,0	14,0
	s									
Streudichte (in kg/m³)	$\bar{x}$	73	70	93	67	86	101	87	79	76
	s									

OBS: oberirdische Biomassetypen; GBS: Ganzbaum-Biomassetypen

samt kann von einer relativ großen Homogenität des Spanmaterials bezüglich der Dicke ausgegangen werden. Die Spandickenverteilung in Gewichtsprozent ist für die einzelnen Sortimente in Abb. 14 wiedergegeben.

Daraus geht hervor, daß der Gewichtsanteil der einzelnen Spandickenklassen zwischen den einzelnen Sortimenten Unterschiede bis zu 20% aufweist. Ferner ist ein annähernd gradliniger Verlauf der Kurven zu beobachten, was auf eine Normalverteilung hindeutet.

Nach Tab. 29 schwankt die Spanlänge der einzelnen Sortimente zwischen 6,5 - 11,1 mm, und weist damit einen relativ weiten Streubereich auf. Die Biomasse der einzelnen Bestände ergab jeweils eine Spanlänge von 7,2; 7,9; 8,5 bei SKie, was auf eine mit zunehmendem Alter der Bestände günstigere Entwicklung hindeutet und 9,6 mm bei Robinie. Die Häufigkeitsverteilung der Spanlängen in den einzelnen Sortimenten (Abb. 15) zeigt, mit Ausnahme der Feinreisig-Sortimente, die gleichen Tendenzen, wie sie im Zusammenhang mit der Dicke festgestellt worden sind.

Zusammengefaßt kann aus den ermittelten Spanabmessungen gefolgert werden, daß die Biomassespäne aus den jüngeren Beständen im Mittel dick und kurz sind. Dies wird auch zusätzlich durch den relativ niedrigen Schlankheitsgrad von ca. 12-16 verdeutlicht.

Die Streudichte bzw. die Schüttgewichte der Späne (Tab. 29) liegen zwischen 67 - 101 kg/m³, wobei die Späne aus Feinreisig (FR) der beiden Baumarten die höchste Streudichte pro m³ aufweisen. Im Vergleich zu den von KEHR (1976) anhand von konventionell hergestellten Spanmaterialien ermittelten Werten von 130-220 kg/m³ sind die hier ermittelten Ergebnisse als relativ niedrig anzusehen.

Dieser Gegensatz und die unterschiedliche Streudichte innerhalb und zwischen den Holzarten ist, wie bereits bekannt, auf die Abhängigkeit der Streudichte von der Rohdichte der Holzart zurückzuführen, wobei

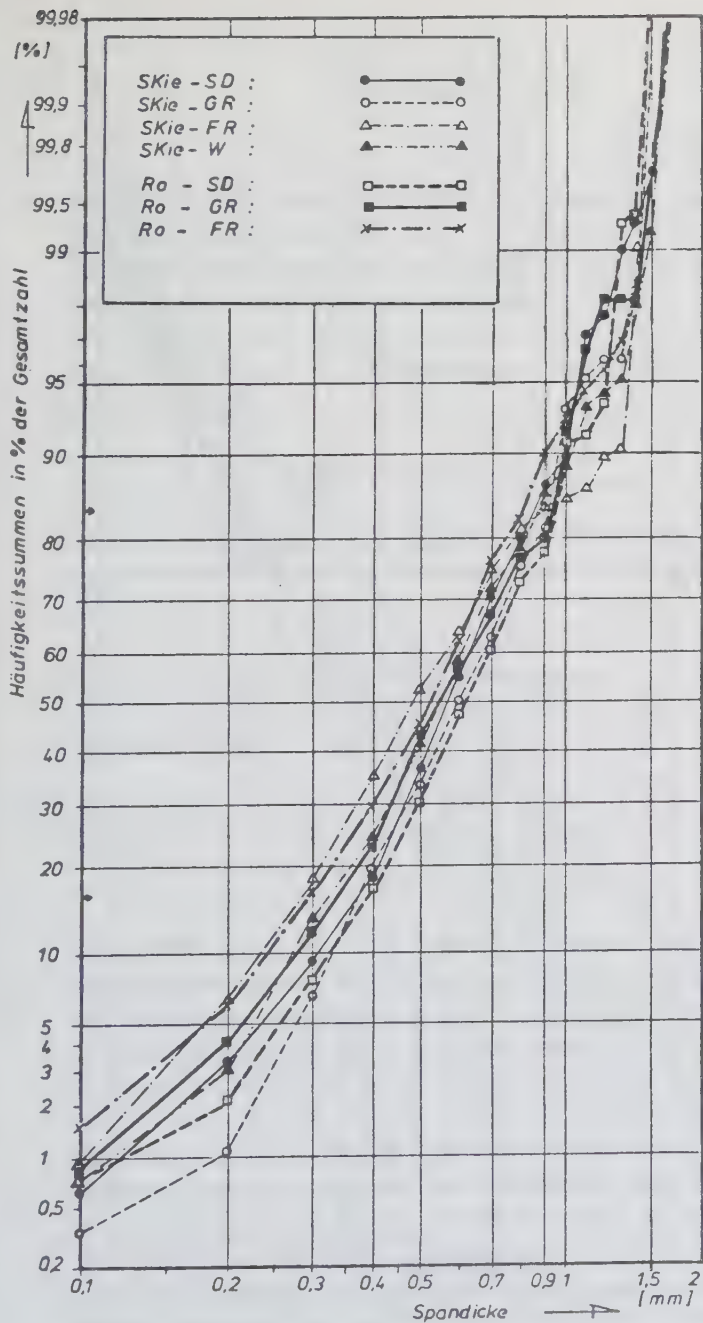


Abb. 14: Verteilung der Spandicken bei den einzelnen Sortimenten der Schwarzkiefer (SKie) und Robinie (Ro)

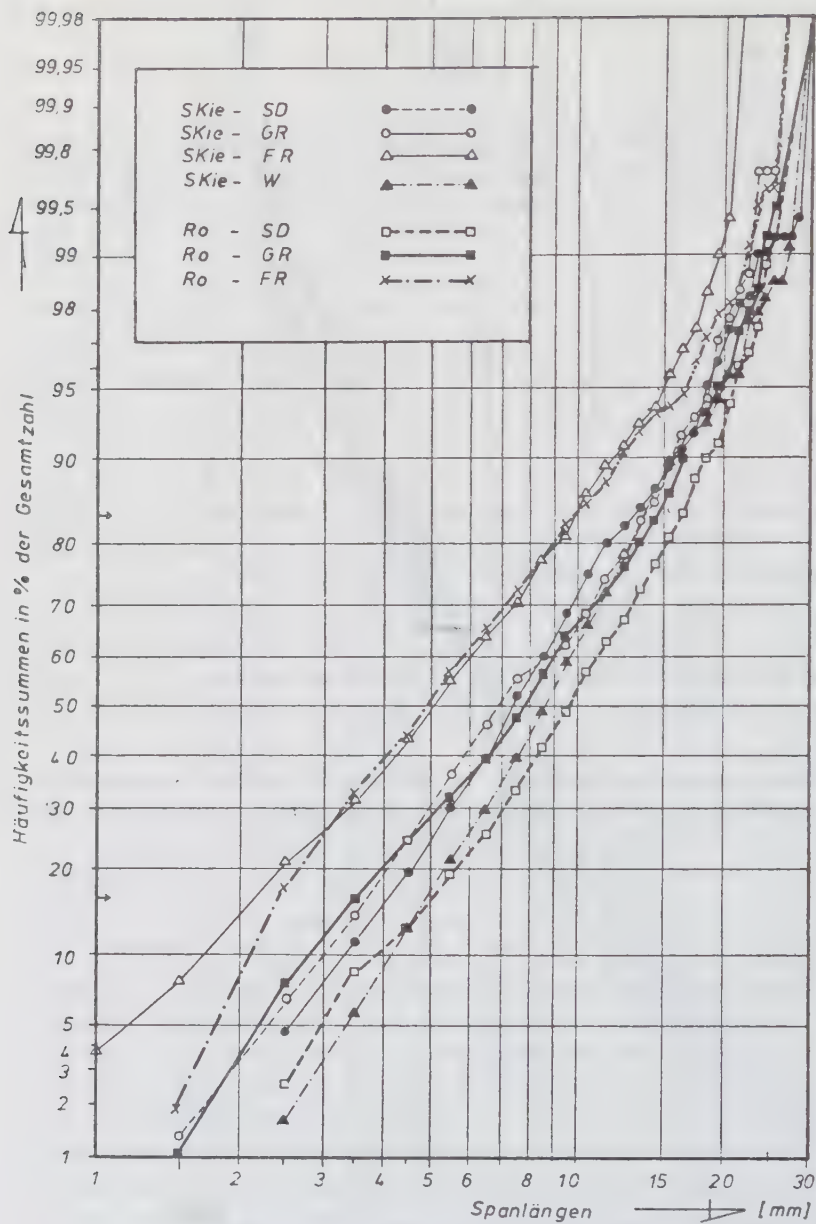


Abb. 15: Verteilung der Spanlängen bei den einzelnen Sortimenten der Schwarzkiefer (SKie) und Robinie (Ro)

diese Erscheinung jedoch vom Einfluß der Spandimension und -form, der Oberflächenbeschaffenheit der Späne u.a. überlagert werden kann. Die stark unterschiedliche Streudichte der Späne führte zu Höhenunterschieden bei der Streuung der Spanvliese.

Abschließend ist die Tendenz zu erkennen, daß die Streudichte der Spangemische mit Zunahme des Bestandesalters abfällt.

3.4.1.3. pH-Werte des Spanmaterials

Die ermittelten pH-Werte des Spanmaterials aus den einzelnen Biomassebestandteilen der Schwarzkiefern und Robinien sind in Tab. 30 wiedergegeben.

Tab. 30: pH-Werte der verwendeten Rohmaterialien

Ausgangsmaterial	SD	GR	FR	W	gesamte Biomasse
Schwarzkiefer	5,1	5,2	4,6	5,6	5,1
Robinie	5,6	5,4	5,6	-	5,5

Während bei der Robinie keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Biomasse-Sortimenten festgestellt werden konnten, fällt bei der Schwarzkiefer das besonders saure Milieu beim Feinreisig auf. Dies dürfte auf den höheren Anteil von Rinde und Nadeln, die in größerem Umfang verschiedenartige säurereiche Extrakte enthalten, zurückzuführen sein. Der durchschnittliche pH-Wert für die Schwarzkiefer von 5,1 deckt sich mit den Ergebnissen von CHEN und PAULITSCH (1974), die an walddfrischem Material von Kiefern aus Läuterungs- und Durchforstungsbeständen pH-Werte von jeweils 5,1 und 5,2 maßen. Im Vergleich zu KEHR (1976), der für Kiefern pH-Werte in einem Rahmen von 4,7 - 5,1 angibt, liegt der hier ermittelte Wert an der oberen Grenze. Der durchschnittliche pH-Wert der Robinie von 5,5 ist nur geringfügig über den

Angaben von SANDERMANN und ROTHKAMM (1959), die einen pH-Wert von 5,3 ermittelten.

Die unterschiedlichen pH-Werte bei den einzelnen Autoren für die gleiche Holzart könnten auf unterschiedliche Faktoren wie Standort, Holzfeuchtigkeit, Anteil an Kern- und Splittholz und anderes mehr zurückgeführt werden. Da alle pH-Werte innerhalb des Bereichs von pH = 4 - 6 lagen, der den optimalen Bereich für die Verleimung mit Harnstoffharzen darstellt, war kein pH-Wert bedingter Einfluß auf die Aushärtung der Bindemittel zu erwarten, so daß mit der vorgeschriebenen gleichbleibenden Menge des Härters gearbeitet werden konnte.

3.4.2. Platteneigenschaften

3.4.2.1. Technologische Daten der Biomasseplatten

Die an den Spanplatten ermittelten holztechnologischen Eigenschaften werden mit den dazugehörenden Toleranzbereichen im Rahmen einer Sicherheit von 95% in Tab. 31 dargestellt. Dabei weisen die Platten eine Dicke von 16,2 - 16,5 mm und eine Feuchte von 8 - 10% auf.

Danach stellen sich für die Plattentypen 1, 2 und 4 bezüglich der Biegefestigkeit besonders günstige Werte heraus, die der Plattentypen 5 und 6 liegen niedriger. Aber auch bei diesen Typen wurden noch Biegefestigkeiten erreicht, die oberhalb der in DIN 68761 angegebenen Anforderungen liegen. Die Biegefestigkeiten der Plattentypen 3 und 7, deren Ausgangsmaterial Feinreisig mit Nadeln bzw. Laub ist, lagen weit unter den DIN-Werten.

Anhand dieser Ergebnisse ist festzustellen, daß mit abnehmendem Durchmesser des Ausgangsmaterials bei gleichzeitig steigendem Rinden- bzw. Feinanteil, vor allem Nadeln und Laub beim Feinreisig, die Biegefestigkeit vom Wurzel- bis zum Feinreisigmaterial, d.h. vom Fuß bis

Tab. 31: Ergebnisse der holztechnischen Prüfung der Biomasseplatten bei Verwendung von Spänen aus Biomassebestandteilen der Schwarzkiefer und Robinie

Holzart	SKie				Ro		
Baumbestandteil	SD ¹⁾	GR ²⁾	FR ³⁾	W ⁴⁾	SD ¹⁾	GR ²⁾	FR ³⁾
Platten-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Biegefestigkeit	$\bar{x}$ 247	237	107	249	208	205	158
in kp/cm ²	$\pm p$ 17	11	18	12	8	11	8
Querzugsfestigkeit	$\bar{x}$ 6,2	6,2	1,9	7,0	6,3	6,7	6,3
in kp/cm ²	$\pm p$ 0,4	1,0	0,6	0,9	0,5	0,6	0,2
Dickenquellung 2h	$\bar{x}$ 4,4	6,8	4,6	2,7	1,8	2,2	5,6
in % nach	$\pm p$ 1,0	0,5	0,5	0,1	0,2	0,4	0,9
Dickenquellung 24h	$\bar{x}$ 19,1	23,5	16,6	13,5	8,0	8,8	14,0
in % nach	$\pm p$ 1,1	0,4	1,9	1,5	0,3	0,3	0,6

1) SD = Schaftderbholz, 2) GR = Grobreisig, 3) FR = Feinreisig einschließlich Nadeln bzw. Laub, 4) = Wurzelmaterial

zur Krone, abnimmt. Dies bestätigt im Prinzip die in der Literatur (vgl. GONTHER, u.a. 1972; VOLZ, 1973; MAY, 1976; KEHR, u.a. 1978; u.w.m.) beschriebene Wirkung der genannten Faktoren.

Ferner dürfte die Spanlänge als weiterer Einflußfaktor auf die Biegefestigkeit in Betracht kommen, bei der ebenfalls eine abnehmende

Tendenz in den genannten Sortimenten W, SD, GR und FR zu sehen war. Schließlich soll hierzu festgestellt werden, daß das günstige Abschnitten der Schwarzkiefer-Platten hinsichtlich der Biegefestigkeit (im Vergleich zu Robinien-Platten) in erster Linie auf die niedrigere spezifische Dichte und höhere Faserlänge der Schwarzkiefer zurückzuführen sein dürfte.

Bezüglich der Querkzugfestigkeit entsprachen alle Plattentypen mit Ausnahme des Typ 3 (SKIE-FR), bei dem sich lediglich ein Wert von $1,9 \pm 0,6$ kp/cm² ergab, dem in der Norm für FP/Y geforderten Wert von 3,5 kp/cm². Das beste Ergebnis wurde hierbei von den Platten aus Wurzelmaterial erzielt. Die Querkzugfestigkeit, die als ein Maßstab für die Qualität der Verleimbarkeit der Späne anzusehen ist, kann somit als gut beurteilt werden, obwohl die Spanform, die als "kurz und dick" bezeichnet werden kann, nicht als günstig anzusehen ist.

Eine negative Beeinflussung der Querkzugfestigkeit war erwartungsgemäß bei Platten aus Schwarzkiefer-Feinreisig zu verzeichnen, bei denen die Einsatzspäne zu ca. 50% aus Nadeln und Rinde besteht und sich somit bei 48% Feinanteil weitgehend von den anderen Spansortimenten unterschied. Eine Beeinträchtigung der Verleimbarkeit durch den pH-Wert dieses Sortiments, das durch ein besonders saures Milieu auffiel, ist nicht auszuschließen, jedoch wurde diese Frage nicht näher untersucht.

Ferner soll darauf hingewiesen werden, daß aufgrund der vorliegenden Ergebnisse anhand einer visuellen Betrachtung kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schüttvolumen und Querkzugfestigkeit der einzelnen Sortimente festgestellt werden konnte. Weiterhin ist zu erkennen, daß zwischen den Querkzugfestigkeiten der Platten aus Schaftderbholz und Grobreisig keine wesentlichen Unterschiede bestehen.

Bei der Bestimmung der hygroskopischen Eigenschaften ergaben sich für die Plattentypen 1 und 3 bei kurzfristiger Wasserlagerung recht gün-

stige Werte. Die Quellungsverzögerung war jedoch in einer 24-stündigen Lagerung weitgehend aufgehoben. Der Plattentyp 2 entsprach bei der kurz- und langzeitigen Wasserlagerung nicht den vorgeschriebenen DIN-Normwerten. Alle anderen Plattentypen, insbesondere die Platten aus Robinien-Schaftholz, zeichneten sich durch eine niedrige Dickenquellung aus. Da die Wirkung der Hydrophobierungsmittel jedoch nach KEHR (1963) weitgehend vom strukturellen Aufbau der einzelnen Holzarten abhängt, dürfte das günstige Abschneiden der Robinienplatten im Bezug auf die Quellung nur sehr unwesentlich vom Hydrophobierungsmittel beeinflusst sein.

Ferner wird vermutet, daß sich die Nadeln aufgrund ihres Wachsgehaltes positiv auf die Quellung ausgewirkt haben, worauf die verhältnismäßig niedrigen Quellwerte der Platten aus Schwarzkiefer-Feinreisig hindeuten. Eine Tendenz zu stärkerer Quellung wurde in der Reihenfolge SD, GR und FR festgestellt, welche bei Robinie ausgeprägt ist, für die vorrangig die spezifischen Strukturmerkmale des Holzes als Ursache in Betracht kommen dürften, da die technologischen Parameter weitgehend konstant gehalten worden sind. Schließlich wird auf die negative Wirkung der Blattmasse auf die Quellung hingewiesen, worauf die relativ starke Erhöhung der Quellwerte bei Robinien-Feinreisig hindeutet.

Zur zusammenfassenden Verdeutlichung der Stellung der einzelnen Plattentypen sind in Abb. 16 die einzelnen technologischen Eigenschaften der sieben Biomassesortimente in Beziehung zu den jeweiligen DIN-Normwerten dargestellt. Dabei sind Tendenzen zwischen den einzelnen Plattentypen zu erkennen. Weiterhin muß aber auch festgestellt werden, daß nur die Probeplatten aus Wurzelholz der Schwarzkiefer sowie aus dem Schaftholz und dem Grobreisig der Robinie in allen Beziehungen den DIN-Normen entsprechen.

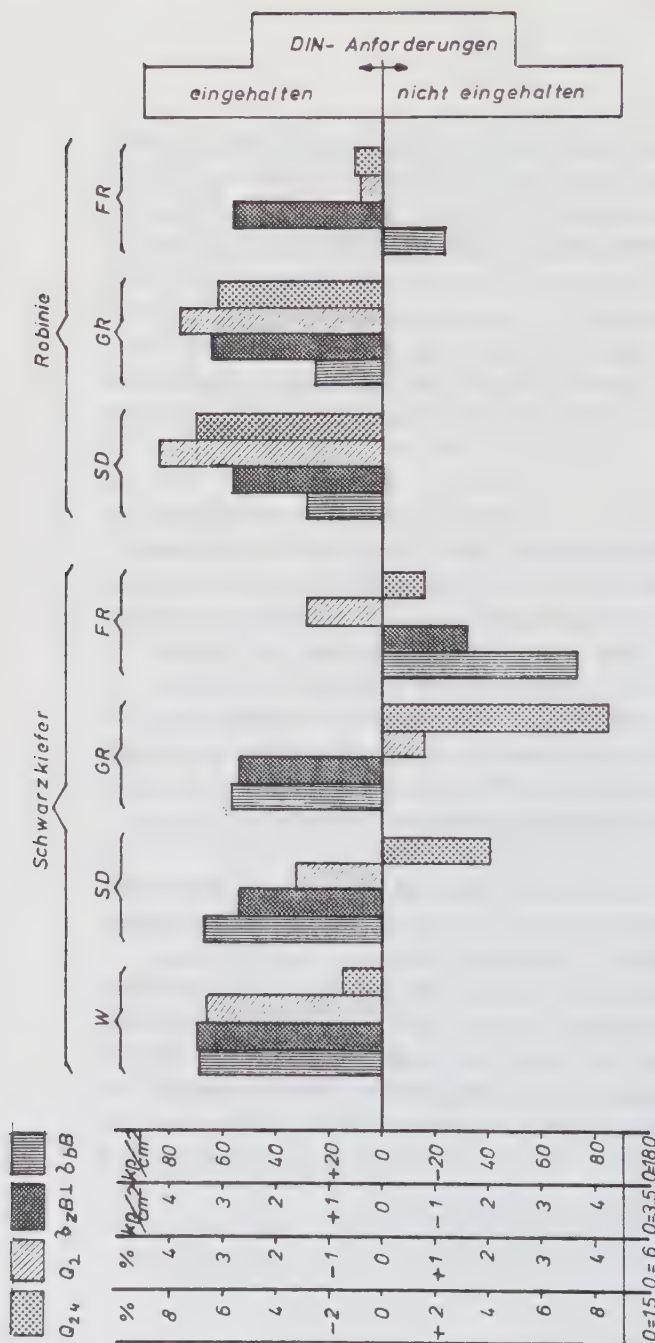


Abb. 16: Biegefestigkeit (δ_B), Querkzugfestigkeit ($\delta_{B\perp}$) und Dickenquellung nach 2^h (Q_2) und 24^h (Q_{24}) von 16 mm dicken Spanplatten aus Wurzelmaterial (W), Schaftderbholz (SD), Grobreisig (GR) und Feinreisig (FR) der Schwarzkiefer und Robinie

3.4.2.2. *Technologische Daten der Spanplatten hinsichtlich der unterschiedlichen Biomassekombinationen der Untersuchungsbestände*

Nachdem im vorherigen Abschnitt aus den einzelnen Sortimenten der Baumarten Schwarzkiefer und Robinie Probeplatten hergestellt und geprüft worden sind und ein Vorversuch die Annahme bestätigt hat, daß die technologischen Eigenschaften der Biomasseplatten durch die Kombination der Prüfergebnisse an den Platten der Biomassesortimente kombiniert werden können, wurde eine dementsprechende Berechnung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 32 für zehn verschiedene Platten-Varianten aufgeführt.

Dabei ergab sich im einzelnen folgendes:

- Platten-Varianten I, II und III

Diese Platten, die die gesamte Biomasse der drei Kiefernbestände repräsentieren, weisen eine Biegefestigkeit von 143 bis 215 kp/cm² und eine Querkzugfestigkeit von 3,2 bis 5,4kp/cm² auf, wobei mit zunehmendem Alter der Bestände die Festigkeitswerte zunehmen. So wurde auch mit dem Biomassematerial des jüngeren Bestandes die Anforderung der DIN-Normen nicht erreicht.

Die Dickenquellung nach 2-stündiger Wasserlagerung ergab für alle drei Varianten günstige Werte, sie überschritt jedoch nach 24-stündiger Wasserlagerung mit 17,5 bis 19,2% die Anforderung der DIN-Normen. Nach GÜNTHER u.a. (1972), die feststellten, daß mit abnehmender Streudichte ebenfalls die Dickenquellung abnimmt, hätte in der vorliegenden Untersuchung die Dickenquellung mit zunehmendem Alter abnehmen müssen, da, wie zuvor gezeigt wurde, die Biomasse aus den älteren Beständen eine geringere Streudichte aufwies. Daß dies nicht eingetreten ist, kann u.U. auf die hydrophobierende Wirkung der Nadeln und der Rinde zurückgeführt werden, die wie bereits festgestellt in

Tab. 32: Technologische Daten einschichtiger Spanplatten mit verschiedenen Biomasse-Zusammensetzungen als Ausgangsmaterial

Platten-Variante	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Sortiment	Schwarzkiefer (Skie)										
	GBM		OBM	OBM ohne FR	OBM ohne SD	OBM	OBM ohne FR	OBM ohne SD	OBM ohne SD	Skie + Ro	
	14-j. Bestand	16-j. Bestand	22-j. Bestand	22-j. Bestand		20-j. Bestand		22-j. u. 20-j. Bestand			
Eigenschaften	Biegefestigkeit $\bar{x}$	143	186	215	209	243	177	198	206	189	207
	in kp/cm^2	17	15	15	16	15	15	9	9	10	12
	Querzugfestigk. $\bar{x}$	3,2	4,5	5,4	5,1	6,3	4,3	5,9	6,5	6,2	5,7
	in kp/cm^2	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6
	Dickenquellung $\bar{x}$	4,8	5,2	4,8	5,1	5,3	5,8	2,6	2,0	3,3	3,7
	in % nach $\bar{p}$	0,5	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,3	0,6	0,6
Dickenquellung $\bar{x}$	17,5	19,2	18,9	19,7	20,8	20,2	9,3	8,3	10,6	14,1	
	in % nach $\bar{p}$	1,7	1,4	1,3	1,2	0,9	1,3	0,4	0,3	0,4	1,0

GBM: Ganzbaum-Biomasse; OBM: oberirdische Biomasse; FR: Feinreisig; SD: Schafderbholz

den jüngeren Beständen in der Biomasse stärker vertreten waren.

- Platten-Variante IV, V und VI

Bei diesen Platten werden, ausgehend vom ältesten Schwarzkiefernbestand, verschiedene Biomassezusammensetzungen, wie sie sich durch unterschiedliche Erntemethoden ergeben, eingesetzt. Während für die Variante IV die oberirdische Biomasse herangezogen wurde, verblieb bei Variante V noch das Feinreisig im Bestand, wodurch eventuelle negative ökologische Auswirkungen der Ganzbaumernte verringert werden könnten und zusätzlich anzunehmen war, daß die technologischen Eigenschaften sich wesentlich verbessern würden. Variante VI geht von der Vorstellung aus, daß das Schaftderbholz anderweitig, z.B. als Säge- bzw. Profilerspanerholz ausgehalten wird. Die Biegefestigkeiten schwankten zwischen 170 - 243 kp/cm², die Querkzugfestigkeiten zwischen 4,3 - 6,3 kp/cm². Die besten Werte wies erwartungsgemäß die Variante V mit einer Biegefestigkeit von 243 kp/cm² und einer Querkzugfestigkeit von 5,1 kp/cm² auf. Damit übertreffen bezüglich der Festigkeitswerte die Varianten IV und V die Anforderungen der DIN-Normen, während Variante VI hinsichtlich der Biegefestigkeit ungenügend ist.

Nach 2-stündiger Wasserlagerung betrug die Quellung bei allen drei Plattentypen weniger als 6%, die die tolerierbare Grenze darstellen, wobei von der Variante VI diese annähernd erreicht wird. Vermutlich liegt hier eine Beeinträchtigung der Verleimung vor, worauf auch schon die verhältnismäßig niedrige Querkzugfestigkeit hindeutet. Die Quellung steigt nach 24-stündiger Wasserlagerung bei allen drei Varianten bis auf ca. 20%, was die DIN-Grenze von 15% weit übertrifft.

- Platten-Varianten VII, VIII und IX

Diese aus Robinien erzeugten Platten entsprechen in ihrer Zusammensetzung den zuvor genannten Varianten, sodaß damit auch die gleichen nutzungstechnischen Vorstellungen verbunden sind. Alle ermittelten Eigenschaften dieser Plattentypen sind als besonders günstig zu bezeichnen und entsprechen bei weitem den Anforderungen der DIN-Normen. Ferner fällt auf, daß zwischen den einzelnen Varianten keine so gravierenden Unterschiede bestehen wie bei den zuvor betrachteten Schwarzkiefernplatten.

- Platten-Variante X

Dieser Plattentyp stellt eine gleichmäßige Mischung der Biomasse der zwei Holzarten Schwarzkiefer und Robinie dar. Sie weist eine Biegefestigkeit von 207 kp/cm^2 , eine Querkzugfestigkeit von $5,7 \text{ kp/cm}^2$ und eine Dickenquellung von 3,7% nach 2-stündiger und von 14,1% nach 24-stündiger Wasserlagerung auf. Damit können auch ihr durchweg gute technologische Eigenschaften bescheinigt werden.

Zur Gesamtdarstellung der einzelnen Platten-Varianten sind in Abb. 17 die technologischen Eigenschaften der zehn Biomasse-Kombinationen in Beziehung zu den jeweiligen DIN-Normenwerten wiedergegeben.

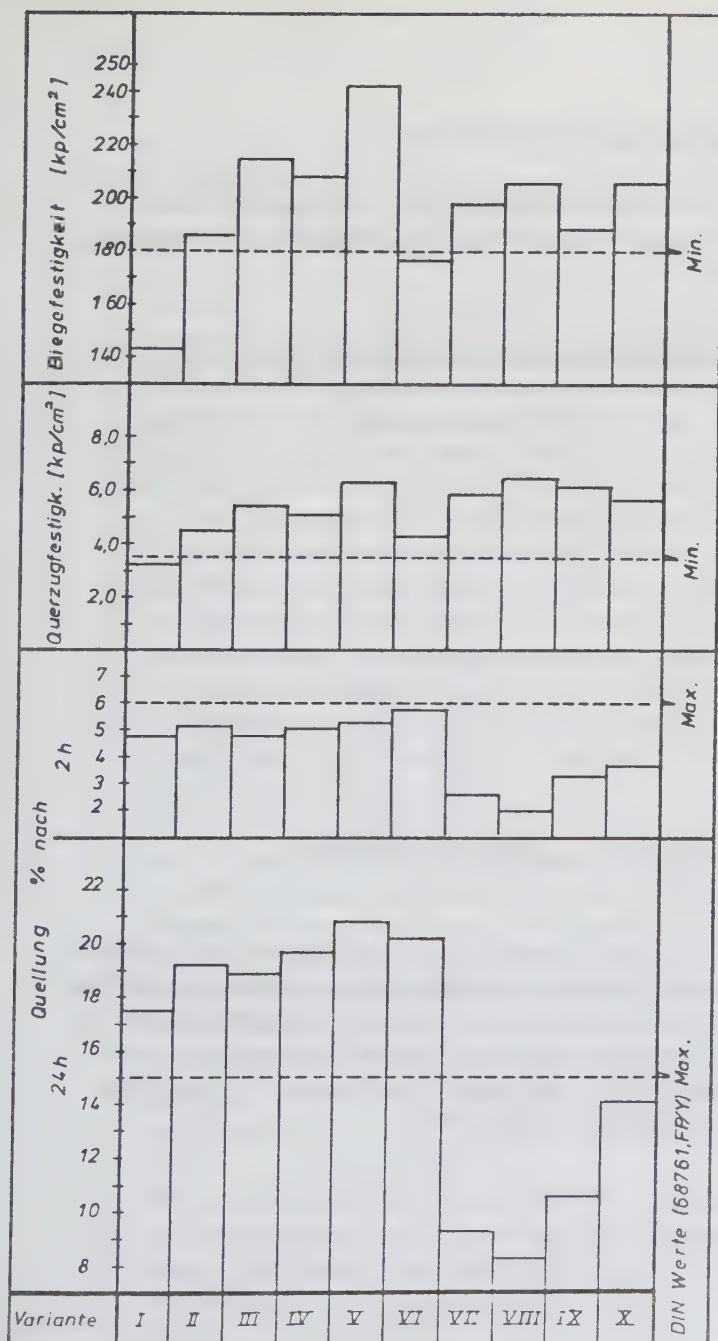


Abb. 17: Darstellung der Platteneigenschaften der einzelnen Varianten in Beziehung zu den DIN-Werten

3.4.2.3. Ergebnisse des Lagerungsversuchs

In Tab. 33 sind die Eigenschaften der aus freigelagerten Biomasse-hackschnitzeln hergestellten Platten den vergleichbaren Plattentypen gegenübergestellt.

Tab. 33: Gegenüberstellung der Platteneigenschaften aus gelagerten und vergleichbaren sofort verarbeiteten Spansortimenten

Eigenschaften		SKie-Biomasse		Ro-Biomasse	
		a	b	a	b
Biegefestigkeit	$\bar{x}$	214	215	188	198
in kp/cm^2	$\pm s$	9	26	14	22
Querzugfestigkeit	$\bar{x}$	5,3	5,4	5,4	5,9
in kp/cm^2	$\pm s$	1,4	1,0	1,0	1,2
Quellung % nach 2h	$\bar{x}$	20,7	4,8	5,3	2,6
	$\pm s$	1,1	0,8	0,4	1,2
Quellung % nach 24h	$\bar{x}$	25,0	18,9	14,4	9,3
	$\pm s$	1,7	2,1	1,6	0,9

a) Aus freigelagerten (ca. 2 Monate) Hackschnitzeln

b) Aus frisch hergestellten Hackschnitzeln

Der Vergleich (95%-ige Sicherheit) zeigt, daß zwischen den Festigkeitswerten keine signifikanten Unterschiede bestehen, während die Quellung stark zunimmt. Dies könnte auf einen Abbau der hydrophobierenden Stoffe während der Lagerung zurückgeführt werden. Dagegen scheint eine 2-monatige Lagerung unter den gegebenen Bedingungen sich nicht negativ auf die Festigkeitswerte auszuwirken.

3.5. Zusammenfassende Wertung der Spanplattenherstellung

Angesichts der vorgelegten Ergebnisse läßt sich folgendes feststellen:

- Die Biomasse der untersuchten Schwarzkiefernbestände ließ sich technologisch ohne Schwierigkeiten hacken und zu Spanplatten verarbeiten. Allerdings vermindert sich mit abnehmendem Bestandesalter bei gleichzeitig steigendem Rinden- und Nadelanteil die Festigkeit der Spanplatten. So entsprachen die Platten, die aus der Biomasse des 14-jährigen Schwarzkiefernbestandes hergestellt worden waren, bezüglich der Festigkeit nicht mehr den Anforderungen der DIN-Norm, während aus der Biomasse der älteren Bestände bezüglich der Festigkeit befriedigende Platten erzeugt werden konnten. Hier ergibt sich unter der Voraussetzung, daß die gesamte Biomasse zur Spanplattenproduktion eingesetzt werden soll, daß z.B. in diesem Fall eine Ernte erst gegen Ende der ersten Altersklasse sinnvoll ist. Zur Festlegung eines Grenzwertes für das Erntealter bedarf es jedoch spezifischer Untersuchungen.

Um die Anforderungen der DIN-Norm bezüglich der Quellung einzuhalten, wird es notwendig sein, den Anteil an Hydrophobierungsmitteln zu erhöhen, wenn die Platte den Anforderungen einer 24-stündigen Wasserlagerung gerecht werden soll, wie dies bei der Verwendung im Bauwesen oder allgemein im Außenbereich der Fall ist. Dies dürfte aber auf keinerlei Schwierigkeit stoßen, da die Industrie oftmals gegenüber der hier angewandten Praxis mit 0,8% Hydrophobierungsmittel (gegenüber 0,4%) arbeitet.

Die Aufarbeitung der Biomasse der Robinie zu Hackschnitzeln und deren Verwertung zur Herstellung von Spanplatten ließ aufgrund der gefundenen Ergebnisse erkennen, daß diese Form in verschiedenen Biomassezusammensetzungen, auch wenn nur Reisig-

material verwendet wird, sehr gute Resultate erbringt. Die Biegefestigkeit der Robinienplatten ist im Vergleich zu der der Platten aus Schwarzkiefern etwas geringer. Dies ist auf die höhere Rohdichte des Robinienholzes zurückzuführen und wirkt sich bei der angestrebten Rohdichte der Spanplatten von 680 kg/m^3 negativ aus. Weiterhin positiv anzumerken ist die niedrige Dickenquellung der Platten, was eine Reduzierung des Anteils an Hydrophobierungsmitteln zulassen würde.

Die Blattmasse hat auf die technologischen Eigenschaften der Platten anscheinend keinen meßbaren Einfluß ausgeübt. Die Gründe könnten darin liegen, daß zum einen der Anteil an Blattmasse bei der Robinie relativ gering ist und zum anderen die Blattmasse bei der Hackung, Zerspanung und Trocknung fast völlig abgebaut wurde.

- Die versuchsweise simulierten Mischplatten aus Schwarzkiefern und Robinie zeigten, daß unter Beibehaltung der vorgegebenen Herstellungsbedingungen Platten erzeugt werden können, die in den geprüften Eigenschaften den Anforderungen entsprechen.

Abschließend soll auf die Ergebnisse des Lagerungsversuches hingewiesen werden. Obwohl die Festigkeiten der aus den gelagerten Hackschnitzeln hergestellten Platten sich im wesentlichen nicht von denen der Vergleichsplatten unterschied, ergaben sich bezüglich der Quellung negative Auswirkungen. Diese Beobachtung wird durch die Tatsache erhärtet, daß der hier vorgenommene Versuch bezüglich der gelagerten Hackschnitzelmasse (lediglich ca. $0,2 \text{ m}^3$) und der Lagerzeit (ca. 2 Monate) weit unter den Bedingungen der Praxis lag. Dies könnte bedeuten, daß unter den verschärften Bedingungen, z.B. längere Lagerungsdauer, Vergrößerung des Piles (Schnitzellager) und damit hohe Feuchtigkeit im Pile-Inneren sowie ungünstigere Witterungsbedingungen auch Unterschiede bezüglich der Festigkeit festzustellen sein würden und die Verschlechterung der Quellung noch zunehmen würde.

Als weiterer Gesichtspunkt kommt hinzu, daß der Verlust an Hackschnitzelmasse während der Freilagerung, hauptsächlich bedingt durch pilzlichen Abbau (vgl. DEPPE/ERNST, 1977)¹, nicht berücksichtigt wurde, da dieser einerseits je nach den klimatischen Bedingungen recht unterschiedlich ist (vgl. MAYDELL, 1974) und andererseits bei einer vertretbaren Lagerdauer angeblich mehr oder weniger belanglos ist (vgl. DIETZ und JEHLE, 1965).

4. TECHNOLOGIE DER HOLZERNT BEI GANZBAUMNUTZUNG IM KURZUMTRIEB

4.1. Charakterisierung der möglichen Erntevarianten

Wie in Kap. 1 bereits näher ausgeführt wurde, erscheint im Rahmen der dieser Arbeit zugrunde liegenden praktischen Vorstellung - möglichst kurzfristige Sicherung des Holzbedarfs einer aufzubauenden Spanplattenproduktion - die Nutzung der Biomasse durch Ganzbaumhackung als die am besten geeignete Holzerntetechnologie. Weltweit wird diese Technologie an erster Stelle genannt, wenn es darum geht, einen größeren Anteil der in der Forstwirtschaft produzierten Biomasse einer industriellen Verwertung zuzuführen. Von Regionen mit akuter oder drohender Holzknaptheit ausgehend, wurden in den letzten Jahren leistungsfähige und praxisreife Systeme und Technologien der Ganzbaumhackung entwickelt und ständig weiter vervollkommen. Vom zapfwellengetriebenen Anbau-Kleinhacker, geeignet für den kleinwaldbesitzenden Landwirt, bis zum kranbeschickten Großhacker auf Lkw-gezogenem Fahrgestell sind erprobte Hackertypen entwickelt worden, die je nach ihrer organisatorischen Zuordnung in verschieden ausgebildeten Holzernteketten eingesetzt werden können. Die Auswahl des Ortes und der Einsatz der verschiedenen Typen erfolgt in Abhängigkeit von den Gelände- und Bestandesbedingungen sowie von den Anforderungen der abnehmenden Holzindustrie.

Gemeinsame Kennzeichen der Hacktechnologien sind

- bessere Ausnützung des Rohstoffes Holz
- Erhöhung der Arbeitsproduktivität durch die Möglichkeit, kontinuierlich zu hacken
- Einsatzmöglichkeit rationeller Transport- und Fördersysteme durch frühzeitige Homogenisierung des Rohstoffes Holz.

Andererseits haben sich jedoch beim Einsatz von Hacksystemen im Rahmen von ausgedehnten Arbeitsversuchen und in der Praxis typische Probleme dieser Erntemethode gezeigt, nämlich

- kontinuierliche und ausreichende Holzversorgung der Hackmaschinen
- Reinigung des Hackgutes von Sand und Steinen, aber auch von Holzstücken und Zweigen
- Organisation der Hackschnitzelabfuhr bzw. einer Zwischenlagerung.

Die erste Konzeption des methodischen Ablaufs der vorliegenden Arbeit sah die Durchführung eigener Hackversuche bei der Nutzung von Schwarzkiefer-Jungbeständen bzw. von Robinien-Niederwald vor. Aus organisatorischen sowie Zeit- und Kostengründen mußte dieses Vorhaben fallengelassen werden. Zur Darstellung und zur Beurteilung verschiedener Hacksysteme unter den speziellen Aspekten der Fragestellung dieser Arbeit muß daher auf die - allerdings gerade in jüngster Zeit zahlreich vorliegenden - Versuchs- und Erfahrungsberichte anderer Autoren zurückgegriffen werden. Dabei liegt auf der Hand, daß die auf dieser Basis kalkulierten Zahlen nur den Charakter von ungefähren Richtwerten haben können, die lediglich Entscheidungshilfen, keineswegs aber eine sichere Kalkulationsbasis darstellen sollen.

Im einzelnen stützen sich unsere Überlegungen und Schlußfolgerungen vor allem auf folgende Arbeiten bzw. Autoren:

STEINLIN, DIETZ, JEHLE 1969

BECKER und PFEIL, 1974

WOLF, 1974

HAKKILA und MAKELA, 1975

ESKELINEN, MELKKO und VESIKALLIO, 1976

GRAMMEL, 1976

HAKKILA, KALAJA, SALAKARI und VALONEN,
1977

KALAJA, 1978

DANIELSEN, 1978

DENNINGER, 1978

HAKKILA, LEIKALA und SALAKARI, 1979

Auf den Angaben dieser Autoren basierend, werden im folgenden die möglichen Erntevarianten, gegliedert nach den einzelnen Arbeitsvorgängen, dargestellt.

4.1.1. Fällen und Vorkonzentrieren

Reine Handarbeit, mit Axt und Bügelsäge, wird heute realistischerweise allenfalls unter speziellen Bedingungen einiger in Entwicklung befindlicher Länder (niedriges Lohnniveau, kleindimensionierte Schlagflächen, Arbeitslosigkeit in ländlichen Räumen) zu erwarten sein. Weltweit ist das Fällen mit Motorsäge zur Standardlösung geworden. Die durchschnittliche Leistung eines Fällers hängt hierbei einmal von den Gelände- und Bestandesbedingungen (Baumdimension), zum anderen aber auch vom Ausrüstungs- und Ausbildungsstand sowie der Leistungsfähigkeit der verwendeten Arbeitskräfte ab. Unter skandinavischen oder mitteleuropäischen Bedingungen werden beispielsweise für Ganzbäume je nach mittlerem Baumvolumen Leistungen zwischen 1,5 und 5,0 m³/h angegeben.

Um nachfolgende Arbeitsgänge - sei es Hackung oder den Rückevorgang - in ihrer Leistung zu begünstigen, werden schwache Bäume nach dem Fällvorgang in der Regel vorkonzentriert (z.B. zusammengezogen oder gebündelt). Diese Arbeit kann von Hand, mittels tierischer Zugkräfte, oder auch maschinell mit Seilwinden oder Vorliefer-Teleskoparmen erfolgen. Die zweckmäßige Erschließung des Bestandes mit Rückegassen hängt außer von den Gelände- und Bodenbedingungen auch von den ausgewählten Vorlieferverfahren ab. Bei manueller Vorkonzentration beispielsweise dürfen Rückegassenabstände 20-25 m nicht überschreiten, da Ganzbäume kaum von Hand bewegt werden können, und das Vorkonzen-

trieren im wesentlichen durch ein orientiertes Fällen bewerkstelligt werden muß. Während die Reichweite heutiger Vorlieferarme ebenfalls eine enge Bestandeserschließung erfordert, kann bei Einsatz von Tieren oder Seilwinden der Rückegassenabstand auf 30-40 m vergrößert werden.

Entsprechend den unterschiedlichen Vorlieferentfernungen sowie den verschiedenen angewendeten Vorliefertechneken schwankt bei geringen Baumdimeensionen die Leistung für diesen Arbeitsvorgang zwischen 2 und 8 Fm/h.

Vollmechanisierte, integrierte Fäll- und Vorliefersysteme sind in Form fahrbarer Maschinen (Feller-buncher) verwirklicht. Während im Kahlschlagbetrieb einfache Fällmaschinen bis an den Baum heranfahren können, ist in der Durchforstung eine von Rückegassen aus operierende Maschine notwendig, die mit langen hydraulischen Armen in den Bestand hineinreicht und auf diese Weise die zu entnehmenden Bäume fällt und vorliefert. Solange diese Maschinen baumweise arbeiten, sind sie, ebenso wie Handarbeitsverfahren, in ihrer Leistung in besonderem Maße stückmassenabhängig, was bei schwachen Baumdimeensionen ihren wirtschaftlichen Einsatz erschwert. Serienweise oder kontinuierlich arbeitende Erntemaschinen suchen diesen Nachteil auszugleichen. Aus der Sowjetunion, aber auch aus Kanada wird von Erntemaschinen berichtet, die schwächere und mittlere Baumdimeensionen streifenweise oder im Kahlschlagbetrieb nach Art eines Mähdreschers kontinuierlich Bäume fällen und ablegen; bei diesen Aggregaten handelt es sich bisher noch um Prototypen, ihr Einsatz in Verbindung mit späterer Ganzbaumhackung erschiene jedoch zukünftig von besonderem Interesse (WATSON 1979).

4.1.2. Holzbringung

Je nach eingesetztem Hacksystem hat die Bringung des Holzes, d.h. sein Transport von der Rückegasse bis zur Lkw-fähigen Straße, in zwei Formen zu erfolgen: Als Ganzbaum dann, wenn die Hackung an der Straße,

auf einem walddahen Platz oder im Werk stattfinden soll, oder als Hackschnitzel, wenn die Hackung bereits auf der Rückegasse bzw. auf der Kahlfäche erfolgt ist.

Zum Rücken von Ganzbäumen kommen je nach Gelände, aber auch den verfügbaren Investitionsmitteln bei geringdimensionierten Bäumen Tiere und landwirtschaftliche Schlepper mit einfachen Seilwinden in Betracht. Weiterhin sind Forstspezialschlepper, mit Seilwinde (Skidder) oder Zange (Crabble skidder) oder Klemmbankschlepper (Bunk skidder) ausgerüstet im Einsatz; daneben können Rückezüge (Forwarder) benutzt werden. Alle diese Verfahren haben den Nachteil, daß zumindest ein Teil des Baumes beim Rückevorgang auf dem Boden schleift, und dadurch Verunreinigungen, die die spätere Hackung und Verwendung des Rohstoffes erschweren, kaum vermeidbar erscheinen. Mit Rückezügen (Forwardern), die den gesamten Baum aufladen und transportieren, könnte dieser Nachteil vermieden werden.

Die Leistung der genannten Rückemaschinen hängt von Baumdimension, Transportentfernung und Rückekapazität der Fahrzeuge sowie vom Gelände ab. Mit Pferd oder einfachem Schlepper sind Leistungen zwischen 2 und 4 m³/h erreichbar, während die größeren Aggregate zwischen 5 und 10 m³/h (bei einer mittleren Rückentfernung zwischen 100 - 500 m) leisten können.

Findet die Hackung bereits auf der Rückegasse statt, kann der weitere Transport der Hackschnitzel in Containern bzw. Behältern erfolgen, die mit der Hackmaschine integriert sind. Diese Lösung erfordert einen geringeren Aufwand an Maschinen, senkt jedoch die Leistung, da die Behälter schnell gefüllt sind und danach eine Unterbrechung des Hackvorgangs eintritt. Weiterhin sind Lösungen in Gebrauch, bei denen neben, vor oder hinter der Hackmaschine fahrende geländegängige Transportfahrzeuge die Hackschnitzel kontinuierlich aufnehmen und aus dem Bestand bringen. Wegen der unterschiedlichen Bestandes- und Gelände-

verhältnisse sowie Bringungsentfernungen kann eine allgemeine Leistungsangabe für diesen Teilvorgang kaum abgeleitet werden.

4.1.3. Hacken

Wie bereits bei der Diskussion über den Rückevorgang im vorigen Abschnitt angedeutet, kann das Hacken von Ganzbäumen prinzipiell entweder im Bestand (auf der Bestandesfläche beim Kahlschlagsystem oder auf der Rückegasse bei Durchforstungen), auf walddahen "fliegenden" Aufarbeitungsplätzen bzw. entlang von Waldstraßen mobil oder auf den den Verarbeitungswerken vorgeschalteten Holzplätzen stationär erfolgen. Die Entscheidung für eines dieser Aufarbeitungsprinzipien hängt von vielfältigen Faktoren, so z.B. von Baumdimensionen, Holzanfall, Transportentfernungen, Bestandes- und Geländebedingungen sowie Waldbesitz- und Unternehmensstruktur ab. Die wichtigsten dieser Bestimmungsgründe sollen in der Folge unter besonderer Berücksichtigung der Zielsetzung dieser Arbeit diskutiert werden.

a) Hacken im Bestand

Als wichtigster Vorteil des Hackens im Bestand (Schlagfläche oder Rückegasse) kann die Möglichkeit gelten, weitgehend saubere Hackschnitzel zu erzeugen, wobei durch geeignete Abscheider Feinreisig, Nadeln und sonstige Teile im Bestand verbleiben können und so die nachfolgende Produktion nicht belasten, aber auch negative Effekte durch eine Belastung des Nährstoffpotentials begrenzen. Voraussetzung ist jedoch die Befahrbarkeit des Geländes von seiner topographischen Ausformung her, sowie die Tragfähigkeit der Böden.

Weiterhin ist eine nicht allzu weitmaschige Erschließung der zu erntenden Bestände notwendig, um den mit geländegängigen Fahrzeugen zwangsläufig langsamen und aufwendigen Transport der Hackschnitzel bis zur Lkw-befahrbaren Straße zu begrenzen. Nach finnischen Untersuchungen darf dieser Abstand bei schweren Geländehackern nicht

über 500 m liegen, um die Wirtschaftlichkeit nicht entscheidend zu beeinträchtigen. Wenn eine ganzjährige Befahrbarkeit des Geländes nicht in Frage kommt (z.B. bei Weichböden während Regenperioden oder bei hohen Schneelagen), müssen geeignete Vorkehrungen zur Zwischenlagerung von Hackschnitzeln oder Ganzbäumen getroffen werden.

Die Hackschnitzelherstellung auf der Bestandesfläche selbst eignet sich ausschließlich im Kahlschlagbetrieb oder bei automatischen Durchforstungssystemen (Reihen- bzw. Gassenschnitt). Neben kombinierten Fäll- und Hackaggregaten (Fäller-Hacker bzw. Forwarder-Hacker) die das Hackgut in absetzbare Container füllen, erscheint hier ein Einsatz von kontinuierlich, nach Mähdrescherart arbeitenden Hackmaschinen gerade bei schwachen Beständen in Kurzumtrieb- bzw. Weichholzplantagen interessant.

Hauptsächlich in skandinavischen Ländern wurden auf Rückegassen fahrbare Hackmaschinen entwickelt, die schwaches Durchforstungsmaterial hacken. Da der Hiebsanfall je Fläche bei Durchforstungen ohnehin geringer ist, bieten sich hier Forwarder-Hacker mit eigenen Hackgut-Behältern an, die jeweils am Ende einer Rückegasse in Lkw-Container entleert werden können.

b) Hacken auf einem Aufarbeitungsplatz

Aus den Vereinigten Staaten und Kanada kommend, ist diese Methode der Ganzbaumernte z.Zt. weltweit dominierend. Bei schwierigen Geländebedingungen und während hoher Schneelagen ist sie die einzige Alternative. So wurden z.B. auch in Finnland 1978 90% der Hackschnitzel auf diese Art hergestellt. Je nach Art und Größe der eingesetzten Maschinen variieren die Hackleistungen zwischen 10 und 35 m³/h.

Nach der Fällung mit Motorsägen oder Fällmaschinen transportieren

meist mehrere leistungsfähige Rückeschlepper (Skidder) die Ganzbäume zu dem 300 - 2000 m entfernt gelegenen Aufarbeitungsplatz. Hier werden zumeist große Hackmaschinen eingesetzt, die entweder auch starke Dimensionen zu hacken in der Lage sind, oder aber bei schwächeren Baumdimensionen mehrere Bäume zugleich hacken und dadurch das Stückmassegesetz zumindest teilweise zu unterlaufen in der Lage sind. Durch die vorgeschaltete Rückung der Ganzbäume über zum Teil weite Entfernungen tritt - außer bei Schneelage - zwangsläufig eine Verschmutzung des Hackgutes ein. Versuche gehen dahin, durch geeignete Siebe oder sonstige Abscheidersysteme die Fremdkörper sowie zum Teil auch Feinanteile bereits am Hackort zu entfernen. Der kontinuierliche Abtransport der durch die hohe Leistung der Hacker erheblichen Hackschnitzelmengen bereitet hier zumeist organisatorische Schwierigkeiten.

c) Hacken an der Waldstraße

Besonders in durch Lkw-befahrbare Straßen gut erschlossenen Waldgebieten, aber auch im Gebirge, wo Aufarbeitungsplätze nur schwer angelegt werden können, bietet sich das Hacken entlang der Fahrwege an. Prinzipiell ist der Arbeitsablauf ähnlich wie beim Einsatz von Hackmaschinen auf zentralen Plätzen, jedoch ist durch das begrenzte Arbeitsfeld ein häufiges Umsetzen notwendig. Außerdem ist die Organisation des Rückens sowie des Abtransports der Hackschnitzel noch schwieriger als auf den zentralen Plätzen (WOLF, 1976).

d) Hacken außerhalb des Waldes auf zentralen Plätzen

Wo die Transportentfernung sowie das Straßennetz es erlauben, kann

auch ein Ganzbaumtransport zu zentralen, werksvorgesetzten Plätzen erfolgen. Die hier eingesetzten stationären Hackeinrichtungen arbeiten rationell und mit hoher Leistung. Die Entfernung etwaiger Fremdkörper läßt sich in stationären Anlagen zwar mit höherem Aufwand, aber effektiver durchführen. Außerdem ist die Qualität der Hackschnitzel in der Regel besser, da stationäre Hacker mit größerer Präzision arbeiten, und eine sofortige Qualitätskontrolle vorgenommen werden kann.

4.1.4. Abtransport des Biomassematerials

Die frühzeitige Homogenisierung des Ganzbaum-Hackmaterials ermöglicht den Einsatz rationeller Lade- und Transporttechniken, z.B. von Gebläsen, Förderbändern, Containern usw. Diese Vorteile können allerdings nur bei kombinierter Hackschnitzelherstellung und -abfuhr (hot-logging) voll ausgenützt werden, da die freie Zwischenlagerung von Hackschnitzeln im Wald sowohl aus transporttechnischen als auch aus Gründen der Verschmutzung bisher kaum verwirklicht wird. Besonders bei weiten Transportentfernungen und hohen Hackerleistungen stellt die Organisation der Transportphase ein logistisches Problem dar. Die Zeitstudien zeigten, daß die Verteilzeit "Warten auf LKW" weitaus den höchsten Anteil an den Unterbrechungen beanspruchte, nämlich nicht weniger als 29% der Gesamtarbeitszeit (vgl. GRAMMEL, 1976). Mit Hilfe moderner Planungstechniken (Netzplantechnik, Warteschlangenmodelle) muß versucht werden, die Transportphase zu optimieren (vgl. HANKE, 1976), hierbei können Wechsel-Container, Großraumfahrzeuge sowie rationelle Entladetechniken (blasen oder schütten) vorteilhaft eingesetzt werden.

Wird das System der zentralen Hackung auf werksvorgesetzten Plätzen gewählt, ist ein Ganzbaumtransport mittels Lastkraftwagen erforderlich. Hierfür werden in der Sowjetunion, aber auch in Mitteleuropa im Bereich von zentralen Aufarbeitungsplätzen für Rundholz Sattelaufleger-LKW mit Kranbeladung eingesetzt, die durch seitliche Wannen für die

herabhängenden Äste und in der Länge variierbare Aufbauten eine höchstmögliche Auslastung sicherstellen.

4.2. Übersicht über die Hackertechnik

Nachdem im vorigen Abschnitt die zur Ganzbaumernte in Betracht kommenden Themen der Ganzbaumhackung dargestellt wurden, sollen in der Folge derzeit auf dem Markt befindliche Hackertypen hinsichtlich technischer Daten, Kapazität und Leistungsfähigkeit charakterisiert werden.

Nachdem bereits STEINLIN, DIETZ und JEHLE (1965) in Mitteleuropa mit mobilen Hackmaschinen im Wald erste Versuche anstellten, wurde die Hackertechnik Mitte der 70er Jahre vor allem von den Vereinigten Staaten her beeinflusst. Während die ersten Versuche in Mitteleuropa noch die Handbeschickung der Hackaggregate vorsah, wurden nun hydraulische Kräne und andere Einzugsvorrichtungen eingesetzt, die eine Handbeschickung ersetzen. Zu erwähnen sind hier die umfangreichen Untersuchungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Waldarbeit und Forstbenutzung. Den ersten Untersuchungen dieser Versuchsanstalt unter der damaligen Leitung von Prof. Dr. GRAMMEL, die zum Teil in den USA durchgeführt wurden (vgl. BECKER u. PFEIL, 1974), schlossen sich im Frühjahr 1975 weitere Feldversuche in Baden-Württemberg und im Saargebiet an. Für diese Versuche stand ein für den Waldeinsatz geeigneter mobiler Großhacker zur Verfügung (Morbark-Chiparvestor, Modell 22, früheres Modell 75), wobei die Beschickung des Hackers mit einem kräftigen Hydraulik-Kran erfolgt. Die Schwerpunkte dieser Versuche waren Aspekte der

- Verbesserung der Arbeitsproduktivität
 - Senkung der Stückkosten
 - Erhöhung der Flächenproduktivität
 - Senkung der Aufforstungskosten durch Vermeidung der Schlag-Ab-räumung
 - Verringerung der Forst- und Holzschutzaufwendungen usw.
- (vgl. GRAMMEL und WOLF, 1975; GRAMMEL, 1976).

Daneben wurden in den letzten Jahren in Skandinavien für kleine, insbesondere bäuerliche Waldbesitzer kleine Anbau-Hacker entwickelt, die die Hackung von schwachen Ast- und Reisigmateriel zur Brennstofterzeugung ermöglichen sollten. DENNINGER (1978) faßte die z.Zt. am Markt vorhandenen Hacker hinsichtlich ihrer Dimension und Technik in vier Gruppen zusammen:

- 1) Buschholz-Hacker
- 2) leichte Dreipunkt-Anbau-Hacker
- 3) Anhänge- bzw. Aufbauhacker
- 4) Lkw-Hacker

Seine tabellarische Zusammenstellung vermittelt weiterhin einen guten Überblick über die verschiedenen derzeit angebotenen Hacker-Technologien.

Nachdem bis hierher die prinzipiell möglichen Ganzbaum-Erntesysteme durch Hackung sowie die derzeit vorhandenen Hackersysteme hinsichtlich ihrer Technik und Leistung dargestellt wurden, erscheint es möglich, für die in der Folge anzustellenden Modellüberlegungen und -berechnungen beispielhaft zwei Systemvarianten auszuwählen, die zum Einsatz bei der Nutzung von Schwarzkiefer- und Robinienbeständen im Kurzumtrieb zur Herstellung von Spanplatten-Ausgangsmateriel in besonderer Weise geeignet erscheinen. Für befahrbare Lagen wird die Hackung auf der Bestandesfläche (System I) als wahrscheinlichste Lösung angenommen. Ist wegen der gegebenen Gelände- bzw. Bodenverhältnisse ein Befahren der Bestandesfläche nicht möglich, wird die Variante mobiler Hackereinsatz auf Aufarbeitungsplätzen (System II) angewendet.

5. MODELLHAFTE DARSTELLUNG DER BIOLOGISCHEN, WALDBAULICHEN, HOLZERNTETECHNISCHEN SOWIE INDUSTRIELLEN ASPEKTE EINER INTEGRIERTEN SPANPLATTENPRODUKTION AUF DER BASIS VON GANZBAUM-HACKSCHNITZELN

Ziel dieses Abschnitts ist es, anhand eines Modells eine Vorstellung über die notwendigen Flächen, Holzmengen und Erntekapazitäten zu vermitteln, um eine Spanplattenanlage von ca. 25 000 m³ Jahreskapazität kontinuierlich mit geeigneten Biomasse-Hackschnitzeln zu versorgen. Das Modell könnte damit einen Hinweis darauf liefern, wie die bisher im Rahmen dieser Arbeit dargestellten Einzelergebnisse zu einem konkreten, realisierbaren Projekt integriert werden können.

5.1. Kalkulation der notwendigen forstlichen Produktionsflächen

Wird ein durchschnittlicher Rohstoffbedarf von 1,35 m³ je m³ Spanplatte vorausgesetzt, so läßt sich der Rohstoffbedarf einer Spanplattenanlage mit 25 000 m³ Jahreskapazität auf ca. 34 000 Fm/Jahr berechnen. Wird davon ausgegangen, daß diese Anlage ausschließlich Biomassehackschnitzel in Form von Ganzbaummaterial aus schwachen Beständen aufnehmen muß, läßt sich der Jahresrohstoffbedarf dieser Anlage nach HAKKILA (1977) auch in Raummeter Hackgut wie folgt ausdrücken:

1 rm³ entspricht 0,43 Fm

$$\frac{3370}{0,43} = \text{ca. } 79\,000 \text{ rm}^3 \text{ Hackgut (frisch)}$$

Dies bedeutet, daß bei Einschichtbetrieb der Spanplattenanlage täglich rd. 320 rm³ Hackgut kontinuierlich bereitgestellt werden müssen.

Soll die Anlage ausschließlich aus neuanzupflanzendem Wald versorgt werden, ist ein zeitlicher Vorlauf der forstlichen Produktion von ca. 20 Jahren erforderlich. Sind bereits - wenn auch ertragsschwache - Mittel- und Niederwälder vorhanden, kann in der Aufbauphase auch eine vorübergehende Versorgung der Anlage mit Hackgut aus Umwandlungs- und Durchforstungsbeständen ins Auge gefaßt werden.

Die folgende Modellkalkulation geht von einer neu zu schaffenden forstlichen Produktionsfläche aus. Im Rahmen des Modells werden die in der vorliegenden Untersuchung bisher eingehend betrachteten Baumarten Schwarzkiefer und Robinie hinsichtlich ihrer Leistung sowie der Zusammensetzung des Hackgutes als Grundlage gewählt.

a) Größe des Areals

Ausgehend von den folgenden Kennziffern für die Erzeugung von Spanplatten - nämlich

Einstreuung	(16 mm) 654 kg atro/m ³
Beleimungsfaktor	(16 mm) 8,0%
Rohdichte	(16 mm) 680 kg/m ³ (bei 8% Feuchte)
Schleifzugabe	(16 mm) 1,5 mm -

werden (25000 x 0,654) 16 350 t atro Biomassematerial/Jahr für die obengenannte Anlage benötigt.

Wenn hinsichtlich der Plattenergebnisse der vorliegenden Arbeit Mischplatten aus Skie und Ro je 50% hergestellt werden sollten, wäre dann

8175 t atro Skie-Biomassematerial

8175 t atro Ro-Biomassematerial

erforderlich.

Unterstellt man nachhaltige Nutzungssätze von 4,0 bzw. 6,0 t atro Biomassematerial für SKie und Robinie (vgl. Tab. 26 und HAMM, 1896), dann sind

$$\frac{8175}{4} = 2044 \text{ ha SKie}$$

$$\frac{8175}{6} = 1363 \text{ ha Robinie}$$

d.h. insgesamt eine 3407 ha große Anbaufläche für die genannten Holzarten und zur Versorgung der Spanplattenanlage notwendig.

Ein solches Areal läßt sich in rd. 170 ha Lose einteilen, die jährlich ausgebeutet und wiederbepflanzt werden ¹⁾. Berücksichtigt man die Anteile der jeweiligen Holzarten, sind somit

102 ha SKie und 68 ha Robinie

jährlich zu bewirtschaften.

b) P f l a n z e n - A n z a h l p r o H e k t a r

Unter Annahme, daß die Bestände beim Abtrieb (im zwanzigsten Lebensjahr) einen durchschnittlichen BHD von 8 cm aufweisen, kann man ein durchschnittliches Baumgewicht von 15,4 kg für SKie und 19,1 kg atro für Robinie, was als Gesamtpotential des oberirdischen Baummaterials anzusehen ist, voraussetzen (vgl. Tab. 20 und 22).

1) Robinie läßt sich durch Stockausschlag und Wurzelbrut regenerieren. Dies bedeutet, daß sie nach erstem Umtrieb nicht wieder durch Pflanzung begründet zu werden braucht. Jedoch nach 2-3 Umtrieben läßt die Wuchskraft wegen Erschöpfung des Bodens deutlich nach (vgl. ERTELD, 1952), so daß die Bestände wieder begründet werden müssen.

Ausgehend von 4,0 bzw. 6,0 t atro nachhaltigem Nutzungssatz pro ha und Jahr für Schwarzkiefer und Roninie (siehe 5.1. a) wird die Anzahl der Bäume pro ha in einer Umtriebszeit von 20 Jahren mit

$$\frac{4,0 \times 1000}{15,4} \times 20 = 5195 \text{ SKie}$$

$$\frac{6,0 \times 1000}{19,1} \times 20 = 6283 \text{ Ro}$$

berechnet.

Rechnet man mit einem Ausfall von ca. 5% nach der Bestandesbegründung (d.h. für Nachpflanzung), wäre dann die Gesamtzahl der Pflanzen/ha für die Begründung mit rd. 5460 Stück Schwarzkiefer und 6600 Stück Robinie festzulegen.

Die so berechneten Pflanzenzahlen geben allerdings nur einen groben Rahmen für die Kosten der biologischen Produktion, und daher müssen sie später bei der Durchführung je nach Baumart und Standortverhältnissen unter Berücksichtigung eines angemessenen Pflanzenverbands genau kalkuliert werden.

5.2. Organisatorische Gestaltung der Holzerntesysteme

Wie in Abschnitt 4.2. dargestellt, wurden aus den zur Verfügung stehenden Hacksystemen beispielhaft zwei Erntesysteme ausgewählt, nämlich

System 1: Hacken auf der Fläche und

System 2: Hacken auf dem Aufarbeitungsplatz.

Im einzelnen sind die Arbeitsketten wie folgt zusammengesetzt:

- S y s t e m 1:
1. Füllen mit EMS und manuelles Vorkonzentrieren
 2. Hacken durch mittleren Hacker mit Kranbeschickung
 3. Rücken des Hackgutes bis zur Lkw-befahrbaren Straße und Zwischenlagerung in Containern bzw. Wechsellpitschen (Multilift)
 4. Abtransport des Hackgutes ins Werk mit Lkw
- S y s t e m 2:
1. Füllen und Vorkonzentrieren wie System 1
 2. Rücken der ganzen Bäume durch Rückezug zum Arbeitsplatz
 3. Hacken durch mittel- bis großdimensionierten, Lkw-montierten Hacker, dabei Einblasen des Hackgutes ohne Zwischenlagerung in wartende Lkw
 4. Abtransport des Hackgutes ins Werk

Die dargestellten Erntesysteme sind als prinzipielle Beispiele zu verstehen, die je nach Gelände- und Bestandesverhältnissen angewendet und modifiziert werden können. Sie entsprechen der teilmechanisierten Ganzbaumhackung (BECKER und PFEIL, 1974), die sich bei Hackung von Vornutzungen als geeignet erwiesen hat. Eine in plantagenähnlichen, im Kurzumtrieb bewirtschafteten Beständen ebenfalls technisch realisierbare vollmechanisierte Lösung der Ganzbaumernte und -hackung wird mittelfristig besonders für in Entwicklung befindliche Länder aus arbeitsmarktpolitischen Gründen nicht für realistisch gehalten.

Ausgehend von dem Biomasse-Hackschnitzelbedarf der im vorherigen Abschnitt gekennzeichneten Spanplattenproduktion (ca. 320 rm Hackgut - frisch/täglich) und den Kapazitäten bzw. Leistungen der dargestellten Holzernteketten kann die erforderliche personelle und maschinelle Ausstattung modellhaft kalkuliert werden, wobei von der Möglichkeit einer ganzjährigen Biomasseernte ausgegangen wird. Die folgende Übersicht gibt einen Eindruck über das Holzernte-Personal und die einzusetzenden Fahrzeuge, wobei in die Kalkulation kein Ersatzbedarf aufgenommen ist:

<i>Erntesystem</i>	<i>Personelle und technische Zusammensetzung</i>	<i>Anzahl</i>
1	a) <i>Waldarbeiter mit EMS</i>	5-6
	b) <i>Geländehacker (z.B. 1000 T bzw. 1000 F) mit Fahrer</i>	2
2	a) <i>Waldarbeiter mit EMS</i>	5
	b) <i>Rückezug (mittelgroß) mit Fahrer</i>	2
	c) <i>Mittel- bis großer Hacker (z.B. 1500 T bzw. 1500 L) mit Fahrer</i>	1

6. ÖKOLOGISCHE RESTRIKTIONEN DES ERNTEVERFAHRENS "GANZ-BAUMNUTZUNG"

Eine dem "Forstlichen Grundgesetz" der Nachhaltigkeit verpflichtete Forstwirtschaft hat bei Gestaltung der technischen Produktion biologisch-ökologische Sachverhalte zu beachten. Sind mit gewissen Holzernteverfahren Risiken der Beschädigung von Boden und Bestand verknüpft, oder droht durch Nutzungsmethoden mittel- oder langfristig eine Verschlechterung des Standorts und damit der zukünftigen Produktionsbedingungen, sind diese Aspekte als begrenzende Randbedingungen (Restriktionen) in die gesamthafte Betrachtung und Entscheidung über die Wahl von Holzerntesystemen miteinzubeziehen.

Das Bestreben, auf dem Wege der Ganzbaumernte ein größeres Potential der auf einem Standort produzierten Biomasse zu nutzen, führt zwangsläufig zu einem gegenüber extensiveren Aufarbeitungsverfahren erhöhten Export der in diesen Baumbestandteilen gebundenen Nährstoffe. Zur Beurteilung dieses zusätzlichen Nährstoffentzugs im Hinblick darauf, ob er die Produktionskraft des Bestandes längerfristig negativ beeinträchtigt, ist einmal eine Quantifizierung der einzelnen Nährstoffkomponenten, und zum anderen eine Analyse des am Standort (d.h. im Boden) vorhandenen Nährstoffpotentials erforderlich. Angesichts der unterschiedlichen Ernteverfahren einerseits und der in noch viel stärkerem Maße streuenden standörtlichen Gegebenheiten andererseits kann eine exakte Beurteilung daher nur für eng umgrenzte Räume und genau definierte Ernteverfahren zuverlässig erfolgen.

Die systematischen und methodischen Grundlagen zur Quantifizierung und Beurteilung des Nährstoffentzugs im Zuge einer intensiveren Nutzung der oberirdischen Biomasse müssen als noch weitgehend fehlend bzw. unvollständig bezeichnet werden. Erst mit der verstärkten Diskussion solcher Nutzungsmethoden hat sich in den letzten Jahren eine inten-

sivere, freilich in der Regel an Einzelfällen orientierte Forschungstätigkeit auf diesem Sektor entwickelt. REHFUESS (1977) weist darauf hin, daß der Nährstoffentzug mit sinkender Umtriebszeit zwangsläufig anwächst, und zwar einmal wegen der häufigeren Nutzungsintervalle, zum anderen aber wegen der bei jüngeren Bäumen tendenziell relativ größeren Masse an Reisig, Rinde und Blättern im Verhältnis zum bisher schon genutzten Derbholz. YILDIRIM (1978) stellte im Zusammenhang damit fest, daß unter dem Gesichtspunkt des Nährstoffentzugs in der Reihenfolge Nadeln (Blätter), Astholzrinde, Schaftholzrinde, Astholz und Schaftholz eine Abnahme der Nährstoffkonzentration und damit der Gefahr des Nährstoffexports gegeben ist. KREUTZER (1979) weist übereinstimmend mit diesen Angaben ferner darauf hin, daß das Holz erheblich ärmer an Nährelementen ist als die übrigen Komponenten der Biomasse, die bei Ganzbaumnutzung zusätzlich entzogen werden. Darüber hinaus stellt er fest, daß Laubholzwäldern bei der Derbholznutzung mehr Nährelemente entzogen werden als Nadelholzwäldern, da im Holz der Laubbaumholzarten deutlich mehr Nährelemente gespeichert seien. Interessant sind in diesem Zusammenhang Ergebnisse von HAKKILA und Mitarbeitern (1979), die feststellen, daß der Nährstoffverlust bei der Ernte von Laubholz im Winter (also ohne Blätter) nicht wesentlich kleiner ist als bei der Ernte im Sommer mit Blättern. Dies sei dadurch verursacht, daß im herbstlichen Nährstoffkreislauf der Bäume vor Verfärbung und Abfall der Blätter ein großer Anteil der wichtigen Nährelemente in Äste und Stamm zurücktransferiert und damit auch bei einer winterlichen Nutzung entzogen werde.

Tendenziell scheinen aufgrund dieser Aussagen solche Ernteverfahren günstig zu sein, die durch ein Abzopfen und Liegenlassen der dünnen Kronen- und Feinreisiganteile einen großen Anteil des Wipfels und damit der nährstoffrelevanten Baumteile im Walde belassen. Als Beispiel kann hier das Fürstl. Fürstenbergische Schwachholzernteverfahren genannt werden, bei dem im Nadelholz (Fichte, Tanne, Kiefer) die gefällten Ganzbäume bei einer Verwertungsgrenze von 6 cm abgeschnitten werden. Nachdem auch während des Ganzbaumrückens sowie während des Polterns

und Verladens erhebliche Feinreisig- und Astanteile weiterhin im Wald verbleiben, erscheint der bei diesem Verfahren per Saldo verbleibende Nährstoff-Mehrexport im Vergleich zu den o.g., an der gesamten Baummasse orientierten Angaben wesentlich begrenzt.

Die bis hierher getroffenen Aussagen über den - theoretisch oder praktisch relevanten - Nährstoffexport bei der Nutzung eines größeren Bestandteils der im Wald produzierten Biomasse lassen noch keine Aussagen über die möglicherweise schädigende Wirkung dieses Nährstoffexports auf den konkreten Standort zu. Hierzu muß zusätzlich eine Analyse des Nährstoffpotentials am Standort erfolgen. Bisherige Untersuchungen basieren lediglich auf (computersimulierten) Modellrechnungen, wonach der Entzug der an den Pflanzen physiologisch wirksamsten und häufig im Minimum befindlichen Elementen wie N, P, K, Ca und Mg theoretisch errechnet wird. MÄLKÜNEN (1972 u. 1976), KREUTZER (1976 u. 1979), WEETMANN u.a. (1972) und KRAPFENBAUER (1976) kommen zu dem Ergebnis, daß lediglich auf armen, insbesondere humusarmen Standorten bei kontinuierlicher Ganzbaumnutzung nachhaltige Ertragsminderungen möglicherweise zu erwarten sein werden. Dabei geht ZÜTTL (1977) davon aus, daß im allgemeinen keine drohende Verschlechterung der Ertragsverhältnisse für die Folgebestände zu erwarten seien, weil die nachschaffende Kraft durchschnittlicher Waldstandorte für die meisten Haupt- und Spurenelemente sowie deren Vorräte auch auf lange Sicht ausreichend hoch sind; z.B. sind in diesem Zusammenhang auch die Zugänge an Nährstoffen durch Niederschläge und Staub zu berücksichtigen (vgl. ULRICH, 1975). Vor allem bei Magnesium läßt sich jedoch eine gewisse Verknappungstendenz bei armen Böden erkennen, ZÜTTL schlägt vor, im Wege einer Kosten-Nutzenrechnung die positiven Aspekte einer Ganzbaumnutzung den Kosten, die durch eine entsprechende Düngung der Bestände zum Ausgleich des Nährstoffexports verursacht werden, gegenüberzustellen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß ein gegenüber heutigen Erntemethoden vergrößerter Biomasseentzug zwangsläufig einen Nährstoff-

export mit sich bringt. Welche Nährstoffe in welchem Umfang exportiert werden, hängt von der Baumart, vom Alter der Bestände sowie von der Intensität der Nutzung ab. Ob dieser Nährstoffexport zu Verarmungstendenzen in den Folgebeständen führt, muß anhand des jeweiligen Standorts beurteilt werden. Dabei ist davon auszugehen, daß die nachschaffende Kraft der meisten Waldböden mindestens in Mitteleuropa die Nährstoffexporte auszugleichen in der Lage ist, lediglich bei Magnesium könnten Mangelercheinungen auftreten. Gefährdet sind dagegen sehr arme, insbesondere humusarme Standorte. Ein Ausgleich des Nährstoffexports durch gezielte Düngung erscheint möglich; diese Düngung ist bei einer gesamthaften Beurteilung des Ernteverfahrens im Rahmen einer Kosten-Nutzenrechnung zu berücksichtigen. Im übrigen ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß auch die bisherigen Nutzungsmethoden nicht unbedingt mit dem am Standort vorhandenen Nährstoffpotential pfleglich umgingen. So führt z.B. die in Mitteleuropa bis in die heutige Zeit hinein verbreitete Übung, den "Schlagabraum" nach der Nutzung durch Verbrennen zu beseitigen und damit die Folgekultur zu erleichtern, zu einer weitgehenden Vernichtung der in den verbleibenden Baumteilen angesammelten Nährstoffe. Vergleich man die ins Auge gefaßten Modelle der Ganzbaumnutzung mit der bekanntermaßen äußerst schädlichen, in den früheren Jahrhunderten betriebenen Streunutzung, so muß man feststellen, daß eine Ganzbaumnutzung während des Bestandeslebens im Zuge der Durchforstung partiell und allenfalls drei- bis viermal erfolgen würde, während die Streunutzung in der Regel Jährlich alle in den Blättern akkumulierten Nährstoffe entnahm. Besonders auf ärmeren Böden wird jedoch das Problem des Nährstoffentzugs besonders kritisch zu beobachten und zu beurteilen sein.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Auch in Bezug auf den natürlich erneuerbaren Rohstoff Holz hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß in weltweitem Maßstab mit einer Verknappung schon mittelfristig zu rechnen sein könnte. Die Gründe hierfür sind einmal die rasch wachsende Bevölkerung, zum andern die mit der wirtschaftlichen Entwicklung einhergehende rasche Zunahme des spezifischen Verbrauchs an Holz und Holzprodukten und schließlich die Erschöpfung fossiler Rohstoff- und Energiequellen, die eine verstärkte Rückbesinnung auf biologisch reproduzierbare Rohstoffquellen zur Folge hat. Regional führen die zuvor genannten Gründe schon heute zu empfindlichen Knappheitserscheinungen, wenn nämlich rasch wachsende Bevölkerungszahlen und wirtschaftlicher Aufschwung in einem Land, in dem auf Grund der natürlichen oder historischen Gegebenheiten der Waldanteil gering ist, zusammentreffen. Dies trifft für wesentliche Teile von Südeuropa, Nordafrika sowie Kleinasien zu, besonders auch für das Heimatland des Verfassers, Iran.

Der zur Verringerung der Importabhängigkeit erwünschte Aufbau einer eigenen Holzindustrie ist eng mit der Bereitstellung des notwendigen Rohstoffes verknüpft. Aufgrund des Waldzustandes, aber auch der Wachstumsbedingungen ist das Holzaufkommen mit den herkömmlichen forstlichen Bewirtschaftungs- und Nutzungsmethoden* kaum vermehrbar. Eine mögliche, mittelfristig effektive Strategie zur Erhöhung des Rohholzaufkommens ist der Rückgriff bzw. die Intensivierung von niederwaldähnlichen Stockausschlagwäldungen, die - im Kurzumtrieb bewirtschaftet - bekanntlich außerordentlich hohe Biomassezuwächse erbringen. Eine andere Möglichkeit ist darin zu sehen, die im Rahmen langfristiger Anbauprogramme entstehenden Aufforstungen bereits früher als nach klassischen Waldbaumodellen üblich, durch die Entnahme eines Teils der Bäume in sehr jungem Alter zur Deckung der Rohstofflücke heranzuziehen.

*) kurzfristig

Aus der skizzierten Ausgangslage leitet sich unmittelbar die konkrete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ab: am Beispiel der Spanplattenherstellung sollte modellhaft für zwei Baumarten geklärt werden, ob die beiden Strategien der mittelfristigen Vergrößerung des verfügbaren Rohholzpotentials denkbar erscheinen.

Im einzelnen waren dabei die folgenden Fragestellungen für die Beispielsbaumarten Robinie (*Robinia pseudoacacia*) sowie Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) zu klären:

- Welche Zusammensetzung und holztechnologischen Eigenschaften die gesamte Biomasse schwach dimensionierter Bäume der genannten Baumarten aufweist,
- ob und mit welchen Fertigungsmethoden aus diesem Ausgangsmaterial Spanplatten hergestellt werden können,
- welche Qualitätseigenschaften diese Platten im Vergleich zu aus herkömmlichem Material konventionell hergestellten Platten aufweisen.

Im Falle der positiven Beantwortung dieser Teilfragen waren folgende, an der Nahtstelle zur Realisierung des Konzepts liegende Überlegungen im Rahmen von Modelluntersuchungen zu prüfen:

- welche Mindestflächen der genannten Waldtypen sind in der Lage, eine Spanplattenfabrik definierter Größe nachhaltig mit ausreichendem Rohstoffmaterial zu versorgen;
- welche Holzernte und -aufbereitungstechnologien bieten sich zur Rohstoffversorgung an;
- welche ökologischen Restriktionen sind bei der Realisierung eines derartigen Modells zu beachten.

Methodische Durchführung:

Am Beispiel von Robinien- und Schwarzkiefernbeständen im Trockengebiet des Forstamts Breisach bei Freiburg wurden aus geeigneten Versuchsbe-

ständen nach einem Stichprobenprogramm Bäume entnommen und zunächst ihre Biomasse qualitativ und quantitativ klassifiziert bzw. bestimmt. Aus diesem Ausgangsmaterial wurden Probespanplatten hergestellt. Die Spanplatten wurden auf ihre qualitativen Eigenschaften nach DIN-Normen geprüft und beurteilt.

E r g e b n i s s e :

Prinzipiell lassen sich aus dem untersuchten Schwarzkiefern- und Robinien-Biomassematerial Spanplatten herstellen.

Bei Schwarzkiefer verminderte sich bei abnehmendem Bestandesalter und gleichzeitig steigendem Rinden- und Nadelanteil die Festigkeit der Spanplatten. So entsprachen Platten, die aus der Biomasse eines vierzehnjährigen Bestandes hergestellt wurden, bezüglich der Festigkeit nicht mehr den Anforderungen der DIN-Normen, während aus älteren Beständen ohne Schwierigkeit qualitativ befriedigende Platten hergestellt werden konnten. Im Vergleich zu herkömmlichen Platten muß der Zusatz an Hydrophobierungsmitteln erhöht werden, um den Anforderungen einer 24-stündigen Wasserlagerung gerecht zu werden.

Die Biomasse des untersuchten Robinienbestandes läßt sich ohne Schwierigkeiten zu Hackschnitzeln und diese weiter zu Spanplatten verarbeiten. Sogar ausschließlich aus Reisig bestehende Proben ergaben noch befriedigende Platteneigenschaften. Besonders hervorzuheben ist die geringe Dickenquellung der Platten.

Die im Versuch ebenfalls erzeugten "Mischplatten" aus Schwarzkiefern- und Robinienbiomasse zeigten, daß sie in den geprüften Eigenschaften den DIN-Anforderungen entsprechen.

Platten, die aus im Freien gelagerten Hackschnitzeln hergestellt worden waren, zeigten zwar nicht hinsichtlich der Festigkeit, jedoch bezüglich des Quellverhaltens schlechtere Werte.

Die genaue Analyse des Biomassematerials ergab Hinweise auf die morphologische Zusammensetzung, aufgeteilt in Derbholz, Nicht-Derbholz (Reisig und Äste), Blatt- bzw. Nadelmasse sowie unterirdische Holzsubstanz. Über Frischgewicht und Trockensubstanzgehalt der einzelnen Fraktionen kann die Biomasse-Flächenproduktivität von jungen bzw. Kurzumtriebsbeständen kalkuliert werden. So sind zwischen 14- und 22-jährige Schwarkieferbestände in der Lage, zwischen 2 und 4,3 t atro Trockensubstanz je Hektar und Jahr zu produzieren. Der bei den jungen Beständen knapp unter 50% liegende Holzanteil der Biomasse erhöht sich bei den 22-jährigen Beständen auf über 75%.

Für den untersuchten Robinien-Bestand (vorwiegend Stockausschlag) im Alter von ca. 20 Jahren wurde eine jährliche Biomasseproduktion je Hektar von 2,75 t atro ermittelt, wovon knapp 75% auf Holzsubstanz entfielen.

Das aus der Biomasse erzeugte Spanmaterial zeigt im Vergleich zu den aus Derbholz herkömmlich erzeugten Spänen eine ungünstigere Zusammensetzung, Biomassespäne aus jüngeren Beständen sind durchschnittlich kürzer und dicker als Vergleichsspäne; es zeigt sich weiterhin eine relativ niedrige Streudichte.

Zusammenfassend ergibt sich für die zu beurteilenden Formen der alternativen Biomassenutzung, daß zum Zweck der Spanplattenherstellung eine Ernte der Bestände frühestens gegen Ende der ersten Altersklasse (d.h. im Alter von knapp unter oder über 20 Jahren) sinnvoll ist. Sowohl hinsichtlich des jährlichen Zuwachses wie auch der technologischen Eigenschaften der Biomasse entstehen bei Einhaltung dieses Grenzwertes günstige Voraussetzungen zur Belieferung einer neu aufzubauenden Holzindustrie.

Die bisher zur mobilen und stationären Hackung von schwachen Ganzbäumen durchgeführten Untersuchungen in Europa, speziell in Deutschland und Skandinavien sowie in Amerika, wurden im Rahmen der Arbeit ausgewertet:

Je nach den örtlichen Gegebenheiten erscheint eine Hackung an der Waldstraße oder auf einem zentralen, werksvorgeschaalteten Platz als geeignete Lösung zur Sicherstellung der kontinuierlichen Versorgung einer Spanplattenfabrik mit Hackschnitzeln.

In ökologischer Hinsicht führt das skizzierte Erntemodell zwangsläufig zu einem vergrößerten Biomasseentzug und damit Nährstoffexport. Inwieweit dieser Nährstoffexport zu einer Verarmung und damit Verschlechterung der Produktionsverhältnisse in Folgebeständen führt, muß anhand der jeweiligen Standorte differenziert beurteilt werden; die Kosten für etwaige Nachdüngungen sind dem Verfahren durch eine Kosten-Nutzen-Analyse anzulasten. Gefährdet scheinen sehr arme, insbesondere humusarme Standorte.

Abschließend wird aufgrund der vorausgehenden Untersuchungen und Erhebungen der folgende Modellfall einer Spanplattenproduktion auf der Basis von Biomasse-Hackschnitzeln kalkuliert:

Jahresproduktion 25.000 cbm Einschicht-Spanplatten

Jahresbedarf an Biomasse-Hackschnitzeln ca. 79.000 cbm frisches Hackgut (bzw. ca. 16.500 t Hackgut atro)

Anbau von ca. 1.400 ha Robinien-Niederwäldern mit jährlichen Aufforstungsraten von ca. 70 ha (oder die Nutzung entsprechender vorhandener Niederwälder in gleichem Umfang) und ca. 2.100 ha Schwarzkieferanbau in jährlichen Aufforstungsraten von 105 ha.

Mit dem vorgeschlagenen Modell erscheint es möglich, in Zeiträumen von ca. 20 Jahren eine Spanplattenproduktion auf langfristig gesicherter Rohstoffbasis aufzubauen.

ABKÜRZUNGEN

atro	: absolut trocken
EDV	: Elektronische Datenverarbeitung
FAO/ECE	: Food and Agriculture Organization of the United Nations/Economic Commission for Europe
FESYP	: Fédération Européenne des Syndicats de Fabricants de Panneaux de Particules (Generalsekretariat Gießen)
HKS	: Handelsklassensortierung für Rohholz
IBP	: International Biological Programme
IUFRO	: International Union of Forest Research Organization

8. LITERATURVERZEICHNIS

- | | |
|--|---|
| AROLA, R.A.,
STUROS, J.A. u.
MATTSON, J.A. | 1976 Research in quality improvement of tree-chips.
Tappi, Nr. 7, S. 66-70 |
| BECKER, G. u.
PFEIL, C. | 1974 Ganzbaum-Waldhackschnitzel. Technische und wirtschaftliche Aspekte der Waldhackung. Mitt. Forstl. Vers.- u. Forsch.-Anstalt Baden-Württ. Freiburg, H. 62, S. 1-68 |
| BIBLIS, E.J. u.
LEE, W.-C. | 1978 Properties of particle board from loblolly pine rootwood and aboveground stumpwood. Forest Products Journal, Nr. 11, S. 55-56 |
| BISKUPSKÝ, V. u.
OSZLÁNYI, J. | 1977 Podiel kôry na nadzemnes biomase stromov hraba obyčajneho, Javora Polného, Duba Cerového a Duba Zimného. Lesnícky časopis, Nr. 4, S. 357-368 |
| BUSCKBECK, L.,
KEHR, E. u.
SCHERFKE, R. | 1961 Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten; 2. Mitt.: Kiefernreiserholz. Holztechnologie, Nr. 3, S. 197-201 |
| CARRE, J. | 1979 Whole-tree chips technological value for the particle board industry. Station de Technologie forestière de l'Etat, C.R.A., Gembloux/Belgique (unveröffentlicht) |

- | | | |
|--|------|--|
| CHEN, T.-Y. u.
PAULITSCH, M. | 1974 | Inhaltsstoffe von Nadeln, Rinde und Holz der Fichte und Kiefer und ihr Einfluß auf die Eigenschaften daraus hergestellter Spanplatten.
Holz als Roh- u. Werkstoff, Nr. 10, S. 397-401 |
| CHEN, T.-Y. u.
PAULITSCH, M. | 1974 | Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Biomasse-Waldhackschnitzeln.
Mitt. Forstl. Vers.- u. Forsch.-Anstalt Baden-Württ. Freiburg, H. 62, S.69-94 |
| CHEN, T.-Y.,
PAULITSCH, M. u.
SATO, G. | 1972 | Zur Verwendung der oberirdischen Biomasse aus Fichtendurchforstungen als Rohmaterial für Spanplatten.
Holz als Roh- u. Werkstoff, Nr. 1, S.15-18 |
| CLARK, A. | 1978 | Total tree and its utilization in the Southern United States.
Forest Products Journal, Nr. 10, S. 47-52 |
| DANIELSEN, P.G. | 1978 | Production of whole-tree chips from broadleaf in the terrain.
Report on Forest operations research, Norwegian Forest Research Institute, Oslo, Nr. 4, S. 335-350 |
| DENNINGER, W. | 1978 | Mobil-Geräte zur Erzeugung von Waldhackschnitzeln.
Allg. Forstzeitschrift, Nr. 48, S. 1417-1420 |

- | | | |
|---|------|---|
| DEPPE, H.J. u.
ERNST, K. | 1964 | Technologie der Spanplatten.
Holz-Zentralblatt Verlags-GmbH,
Stuttgart, S. 88-91 |
| DEPPE, J.J. u.
ERNST, K. | 1977 | Taschenbuch der Spanplattentechnik.
DRW-Verlags-GmbH., Stuttgart, S. 79
u. 110-115 |
| DIETZ, P. | 1966 | Die Vermessung von Industrieholz nach
Gewicht.
Diss., Forstwiss.Fakultät, Freiburg |
| DIETZ, P. u.
JEHLE, H. | 1965 | Bisherige Ergebnisse der Versuche über
Hackung von Holz im Wald und Lagerung von
Holzhackschnitzeln.
Mitt. Forstl. Vers.-u.Forsch.-Anstalt
Baden-Württ. Freiburg, Nr. 10, S. 9-54 |
| DROSTE ZU HOLSHOFF,
Frh. v. B. | 1969 | Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes
auf Grund einer Dimensionsanalyse an ober-
irdischen Baumorganen.
Diss., Forstwiss. Fakultät, München |
| ERTELD, W. | 1952 | Wachstum und Ertrag der Robinie im Gebiet
der DDR.
Deutscher Bauernverlag, Berlin, S. 99 |
| ESKELINEN, A.,
MELKKO, M. u.
VESIKALLIO, H. | 1976 | Eceonomicalness of harvesting of whole
trees.
Metsäteho Report, Nr. 341, S.6-38 |
| ESKILSSON, S. | 1972 | Whole tree pulping, Part. 1. Fibre properties.
Svensk Papperstidn., Nr. 75, S. 397-402 |

- | | | |
|---------------------------|------|--|
| FAO: | 1961 | Politique de Development Forestier. |
| TREGUBOV, V. | | Raport an Gouvernement de l'Iran, Rome,
S. 12-15 |
| FAO | 1976 | Yearbook of forest products, Rome |
| FAO/ECE | 1976 | European timber trends and prospects, Genf |
| GISLERUD | 1975 | Biomass and biomass properties of trees
from thinnings of spruce, pine, birch
and alder.
Norsk Skogbr., Nr. 5, S. 37 |
| GÜHRE, K. | 1952 | Die Robinie und ihr Holz.
Deutscher Bauernverlag, Berlin, S. 175-268 |
| GÜHRE, K. | 1961 | Werkstoff Holz- Technologische Eigenschaften
und Vergütung. 2. Auflage
VEB-Fachbuchverlag, Leipzig, S. 81 |
| GRAMMEL, R.u.
WOLF, E. | 1975 | Versuchsbericht über den Morbark-Chiparvestor,
Mod. 75 (22): Produktion von Ganzbaum-
Hackschnitzeln (sog. grüne Schnitzel) im Wald.
Int. Bericht der Forstl. Vers.-u. Forsch.-
Anstalt Baden-Württ. Freiburg (unveröffent-
licht). |
| GRAMMEL, R. | 1976 | Versuche mit der Ganzbaumhackung, ein Weg
zur Nutzung von Grenzsoriment.
Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizer.
Forstvereins, Nr. 57, S. 318-326 |

- GRAMMEL, R. 1976 Field chipping and utilization of chips in the particle board industry.
Vortrag am XVI. IUFRO World-Congress,
20. June - 2. July, Oslo
- GONTER, B. 1972 Eigenschaften und Verwertung des Ast-
GÖTZE, H., holzes von Kiefer und Rotbuche; 3. Mitt.:
LUTHARDT, H. u. Verwendung von Astholz der Kiefer für die
SCHULTZE-DEWITZ, G. Herstellung von Spanplatten.
Holztechnology, Nr. 2, S. 80-87
- HAKKILA, P. 1975 Coniferous branches as a raw material
source.
Communicationes Inst. Forest. Fenniae, H 1
- HAKKILA, P. u. 1975 Pallari Busharvester.
MÄKELÄ, M. Folia Forestalia, Institutum Forestale
Fenniae, Nr. 249, S. 3-18
- HAKKILA, P., 1977 Whole-tree harvesting in the early
KALAJA, H., thinning of pine.
VALONEN, P. u. Folia Forestalia, Institutum Forestale
SALAKARI, M. Fenniae, Nr. 333
- HAKKILA, P., 1979 Production, harvesting and utilization
HEIKOLA, M. u. of small-sized trees.
SALAKARI, N. SITRA - Sarja B, N:o 46b. Helsinki,
S. 37-91
- HAMM, J. 1896 Der Ausschlagwald.
Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin,
S. 55

- | | |
|------------------------------|--|
| HANKE, G. | 1976 Die Problematik des Ausnutzungsgrades, dargestellt am Beispiel des Ganzbaumhackers Chiparvestor. Mod. 22. Dipl.Arbeit, Forstwissen. Fakultät Freiburg (unveröffentlicht) |
| HAWARD, E.T. | 1973 Properties of southern pine needles. Wood Science, Nr. 4, S. 281-286 |
| HOMA | 1936 Bestimmungen über die Ausformung, Messung und Sortenbildung des Holzes in den Deutschen Forsten (gültig ab 1. Okt.)
In: PRODAN, M., 1965, s.u. |
| IRANISCHE
FORSTVERWALTUNG | 1965 Forststatistik, Iran, Teheran (persisch) |
| JANKA, G. | 1915 Die Härte der Hölzer
Mitt. Forstl. Versuchswesen Österr., Wien, S. 40-45 |
| KALAJA, H. | 1978 Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F.
Folia Forestalia, Institutum Forestale Fenniae, Nr. 374, S. 5-27 |
| KEHR, E. | 1963 Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten; 5. Mitt.: Zur Hydrophobierung von Spanplatten aus Kiefer-, Buchen-, Erlen-, Birkenholz. Holztechnologie, Nr. 1, S. 41-46 |

- KEHR, E. 1976 Spanplatten.
In: Taschenbuch der Holztechnologie,
3. Auflage
VEB-Fachbuchverlag, Leipzig, S. 147
- KEHR, E. 1976 Zur Erweiterung der Rohstoffbasis für die
Herstellung von Spanplatten und Faserplatten.
Holztechnologie, Nr. 4, S. 208-217
- KEHR, E. u.
SCHERFKE, R. 1963 Untersuchungen über den Einfluß der Ab-
messungen von Holzspänen auf die Eigen-
schaften von Spanplatten. 1. Mitt.: Sortieren
und Nachzerkleinern von Mittelschichtspänen.
Holztechnologie, Nr. 3, S. 251-256
- KEHR, E. u.
DRECHSLER, W. 1978 Dünnschicht, ein wichtiger Rohstoff für die
Faser- und Spanplattenproduktion.
Holztechnologie, Nr. 2, S. 67-74
- KLAUDITZ, W. 1952 Untersuchungen über die Eignung von
verschiedenen Holzarten, insbesondere von
Rotbuchenholz, zur Herstellung von Holz-
spanplatten.
In: KEHR, R. u. SCHERFKE, R., 1963, s.o.
- KOLLMANN, F. 1951 Technologie des Holzes und der Holzwerk-
stoffe, Bd. 1, 2. Auflage.
Springer-Verlag, Berlin, S. 358-362
- KRAPFENBAUER, A. 1976 Vollbaumnutzung und nachhaltige Produkti-
vität.
Allg.Forstzeitung, Nr. 4, S. 115-117

- KREUTZER, K. 1976 Effect on growth in next rotation (regeneration).
FAO-Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass.
14.-16. Juni, Finnland, Vol. I, S.78-93
- KREUTZER, K. 1979 Ökologische Probleme bei der Vollbaumernte.
Vortrag an der KWF-Zwischentagung "Zentrale Aufarbeitung" und IUFRO-Seminar, Donaueschingen, Tagungsführer: S. 109-128
- KNUCHEL, H. 1944 Über das Raumgewicht und das Schwindmaß schweizerischer Hölzer.
Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen, Nr. 2, S. 471-503
- LIIRI, O.,
KIVISTÖ, A. u.
LAINE, L. 1972 Branches and whole trees as raw material or particle board.
Papperi ja puu, Nr. 10, S. 591-593
- LIIRI, O. u.
KIVISTÖ, A. 1973 Barking waste as raw material of the middle layer of particle board.
Papperi ja puu, Nr. 10, S. 773-778
- LIIRI, O.,
KIVISTÖ, A. u.
SAARINEN, A. 1977 Einfluß der Holzarten, der Spangröße und des Bindemittels auf die Festigkeit und Quellung der Spanplatten mit höheren elastomechanischen Eigenschaften.
Vortrag an der 36. Sitzung der technischen Kommission der FESYP in Frankfurt.
(Vorträge und Diskussionen), S. 148-203

- MADGWIK, J.I.A. 1968 Seasonal changes in Biomass and annual production of on old-Field *Pinus virginia* stand.
In: MITSCHERLICH, G., 1970, s.u.
- MAY, H.A. 1976 Waldhackschnitzel für die Spanplattenherstellung, Einfluß der Anteile von Rinde und Nadeln sowie der Spanaufbereitung auf die Platteneigenschaften.
Holz-Zentralblatt, Nr. 42, S. 569-571
- MAYDELL, H.-J.v. 1974 Hackschnitzel aus Holz- ein wichtiger Rohstoff im Welthandel.
Umschau in Wissenschaft und Technik, H.1, S. 22
- MÄLKONEN, E. 1972 Effect of harvesting logging residues on the nutrient status.
Folia Forestalia, Institutum Forestale Fenniae, Nr. 157, S. 1-14
- MÄLKONEN, E. 1976 The effect of fuller biomass harvesting on soil fertility.
FAO-Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass.
14.-16. Juni, Finnland, Vol. I, S. 78-93
- MITSCHERLICH, E. 1970 Wald, Wachstum und Umwelt. Bd.1
J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., S. 34-35

- MITSCHERLICH, E. 1975 Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 3
J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.,
S. 240
- MÖBIUS, K. 1977 Die Entwicklung des europäischen Holz-
marktes bis zum Jahre 2000; Ergebnisse
der neuen Holzmarktstudie der FAO/ECE.
Der Forst- und Holzwirt, Nr. 13, S. 245-253
- OVINGTON, J.D., 1967 Tree biomass estimation.Symposium: on
FORREST, W.G. u. primary productivity and mineral cycling
ARMSTRONG, J.E. in natural ecosystems.
Ecol. Soc. of Amer. (ed.), YOUNG, H.E.,
Univ. Maine, Orono, S. 4-31
- PALENIUS, I. 1974 Marginal raw Materials in pulp manufacture.
Papperi ja puu, H. 3, S. 146-152
- PAULITSCH, M. 1977 Waldhackschnitzel für die Spanplattenher-
stellung.
Holz-Zentralblatt, Nr. 15, S. 233-234
- PETERS, W. 1976 Über die Nutzung von Ganzbaum-Waldhack-
schnitteln im Vergleich zur Nutzung von
Industrieholzhackschnitteln bei der Her-
stellung flachgepreßter Holzspanplatten.
Mitt. Forstl. Vers.- u. Forsch.-Anstalt
Baden-Württ. Freiburg, H. 77, S. 1-11
- PHILIPP, K. 1931 Hilfstabellen für Forst Taxatoren.
2. Auflage
Badenia-Verlag-AG., Karlsruhe, S. 17

- PLATH, E. 1953 Studien über Phenolharzleime - 1. Mitt.: Hitze- und Säurehärtung. Holz als Roh- u. Werkstoff, Nr. 10, S. 392-400
- POLLER, S. 1978 Studie über die chemische Zusammensetzung von Wurzel-, Stamm- und Astholz zweier Kiefern (*Pinus silvestris* L.) unterschiedlichen Alters. Holztechnologie, Nr. 1, S. 22-25
- PRODAN, M. 1965 Holzmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., S. 7-11
- RACKWITZ, G. 1963 Der Einfluß der Spanabmessungen auf einige Eigenschaften von Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, Nr. 6, S. 200-209
- RALSTON, C.W. 1973 Annual primary productivity in a loblolly pine plantation. In: TORAS, M.A., 1978, s.u.
- REHFUSS, K.E. 1977 Waldbau in einer Zeit geschärften Umweltbewußtseins- Überlegungen eines Standortskundlers. Festvortrag anl. der Hauptversammlung des Baden-Württ. Forstvereins, 11. Mai, Reutlingen (unveröffentlicht)
- SANDERMANN, W. u. ROTHKAMM, M. 1959 Über die Bestimmung der pH-Werte von Handels-hölzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz als Roh- und Werkstoff, Nr. 11, S. 433-440

- SCHALCK, J. 1967 Ober die Rohdichte und Festigkeit des Schwarzkiefernholzes (*Pinus nigra* Arn.) und den Zusammenhang zwischen Rohdichte und Holzstruktur untersucht an belgischen Aufzuchtungsbeständen. Forstwiss. Forschungen, Paul Parey Verlag, Hamburg/Berlin, S. 11-20
- SCHAFER, G. 1977 Nährelementhaushalt von Kiefernjungbeständen in der südlichen Oberrheinebene. Diss., Forstwiss. Fakultät, Freiburg
- SIMOLA, P. 1975 Ganzbaum-Nutzung von *Alnus incana*. Dipl. Arbeit, Forstwiss. Fakultät Freiburg (unveröffentlicht)
- SPROULL, R.C., PARKER, R.B. u. BELVIN, W.L. 1957 Whole-tree harvesting. Forest Products Journal, Nr. 4, S.131-134
- STEINLIN, H.J., DIETZ, P. u. JEHLE, H. 1965 Die Herstellung von Hackschnitzeln durch die Forstwirtschaft. Holz-Zentralblatt, Nr. 57, S. 975-980
- STEINLIN, H.J. 1975 Die Entwicklung der Zellstoff- und Papierindustrie. Holz-Zentralblatt, Nr. 44, S. 593-596
- SUKACHEV, V. u. DYLLIS, N. 1964 Fundamentals of forest biogeocoenology. In: MITSCHERLICH, G., 1975, s.o.
- TARAS, M.A. 1978 Biomass of southern pine and their product Yields. Proceedings of a symposium on the complete tree utilization of southern pines. April, New Orleans, Louisiana, S.15-23

- TRENDELENBURG, R. u. 1955 Das Holz als Rohstoff, 2. Auflage
MAYER-WEGELIN, H. Carl Hanser Verlag, München, S. 276-278,
292-311 u. 314-322
- ULRICH, B. 1975 Stoffhaushalt von Waldökosystemen.
Manuskript (unveröffentlicht)
- VENET, J. 1963 Etudes de qualite de dix echantillonnages
de bois de essences diverses prbvenant
de Corse.
In: SCHALCK, J., 1967, s.o.
- VIRKOLA, N.E. 1976 Development and trends in industrial
utilization of fuller forest biomass
branch-wood, foliage and stumps in
traditional wood industry.
FAO-Symposium on the harvesting of a
larger part of the forest biomass,
14. - 16. Juni, Finnland, Vol. I,
S. 31-49
- VOLZ, K.-R. 1973 Herstellung und Eigenschaften von Fichten-,
Kiefern- und Buchenrindenplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff, H.6,
S. 221-229
- WATSON, L. 1979 Unique "Swather-Harvester" cuts through
a forest with a continuous motion.
Canadian Forest Industries, Vol. 99, Nr. 3,
S. 54-56

- WEETMANN, G.F. u. WEBBER, B. 1972 The influence of wood harvesting and the nutrient status of two spruce stands. Canad. J. Forest Research, Nr. 2, S. 351-369
- WELLS, C.G., JORGENSEN, J.R. u. BURNETTE, C.E. 1975 Biomass and mineral elements in a thinned loblolly pine plantation et age 16. In: TARAS, M.A., 1978, s.o.
- WERNIUS, S. 1975 The available quantities of marginal raw materials to be found in Sweden. Konferens Sk 1: "Utilization of marginals raw ,aterials - machinery, methods and costs" ELMIA 75, Jönköping, S. 28-40
- WIESNER, J.v. 1928 Die Rohstoffe des Pflanzenreiches. In: SCHLACK, J., 1967, s.o.
- WITTICH, W. 1958 Auswertung eines forstlichen Düngungsversuchs auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischen Nährstoffhaushalt. Ruhr-Stickstoff AG., Bochum, S. 1-48
- WOLF, E. 1974 Ausbeuteerwartung bei Ganzbaum- und Kronenhackung. Mittl. Forstl. Vers.-u. Forsch.-Anstalt Baden-Württ. Freiburg, H. 62, S. 95-111
- WOLF, E. 1976 Waldhackung als Holzernteverfahren. Mitt. Forstl. Vers.- u. Forsch.-Anstalt Baden-Württ. Freiburg, H. 77, S. 1-7

- WNUK, M. 1977 Einsatz von Hackschnitzeln mit Grüngut
bei der Spanplattenherstellung.
Holztechnologie, Nr. 2, S. 80-83
- YILDIRIM, M. 1978 Der Nährstoffexport aus Fichtenreinbeständen
in Abhängigkeit vom Holzernteverfahren.
Diss., Forstwiss. Fakultät, Göttingen
- YOUNG, H.E., 1964 Preliminary fresh and dry weight tables
STRAND, L. u. of seven tree species in Maine.
ALTENBERGER, R. Maine Agricultural experiment station.
Technical Bulletin, Nr. 12, S. 7-76
- ZÜTTL, H.W. 1977 Rinde - Abfall oder Rohstoff.
Allg. Forstzeitschrift, Nr. 6, S.154-155

LEBENS LAUF

Am 24. Dezember 1947 wurde ich, Abdolali Amri, als Sohn des Kaufmanns Abdolghafur Amri und dessen Ehefrau Azizeh-Sultan, geb. Golbaz, in Brudjerd/Iran geboren.

1953 - 1959 besuchte ich die Volksschule und von 1959 - 1966 die Oberschule in Brudjerd, wo ich 1966 die Reifeprüfung im naturwissenschaftlichen Zweig ablegte.

Von 1967 bis 1971 studierte ich an der Forstwissenschaftlichen Fakultät (jetzt: Natural Ressources) der Universität Teheran, wo ich im Juni 1971 die forstliche Dipl.-Ing.-Prüfung mit Erfolg ablegte.

Ich erhielt, da ich die Bedingungen erfüllte, ein Stipendium von der Deutschen Stiftung für Entwicklungsländer, zum Zwecke der beruflichen Aus- und Fortbildung. Aufgrund dessen reiste ich im Dezember 1971 in die Bundesrepublik Deutschland ein, wo ich zunächst in einem Kurs am Goethe-Institut in Brannenburg/Bayern die deutsche Sprache erlernte und anschließend während des einjährigen Praktikums in der Zeit vom April 1972 bis März 1973 in mehreren öffentlichen Forstbetrieben bzw. Forschungsinstituten Kenntnisse auf forstlich-fachlichem und organisatorischem Gebiet erwarb.

1973 wurde ich an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg zugelassen, an der ich nach einem Ergänzungsstudium im Juli 1975 eine Zusatzprüfung ablegte, die die Anerkennung meines Studienabschlusses im Iran als formale Voraussetzung für eine Zulassung zur Promotion an der Freiburger Universität bedeutete.

Von August 1975 bis Oktober 1976 schloß ich meinen bisherigen Studien ein vertiefendes Aufbaustudium, speziell in den Fachbereichen Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, an.

Seit Oktober 1976 arbeite ich als Doktorand unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. Grammel am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft an meiner schriftlichen Promotionsarbeit, die durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) gefördert wird.

